



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISA *TIME-DOMAIN* PENGARUH *SPREAD MOORING* DENGAN VARIASI JUMLAH *LINE* TERHADAP *TENSION* PADA *FLEXIBLE RISER*

DIAN FIDDINI MAHANANI

NRP. 4313 100 055

Dosen Pembimbing :

Ir. Murdjito, M.Sc.Eng.

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017



FINAL PROJECT - MO141326

TIME-DOMAIN ANALYSIS OF SPREAD MOORING SYSTEM WITH LINE NUMBER VARIATION TO FLEXIBLE RISER TENSION

DIAN FIDDINI MAHANANI

NRP. 4313 100 055

Supervisors :

Ir. Murdjito, M.Sc.Eng.

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 60111

2017

**ANALISA *TIME-DOMAIN* PENGARUH *SPREAD MOORING* DENGAN
VARIASI JUMLAH *LINE* TERHADAP *TENSION* PADA *FLEXIBLE*
*RISER***

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-I Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIAN FIDINI MAHANANI

NRP. 4313 100 055

Disetujui oleh :

1. Ir. Murdjito, M.Sc.Eng. (Pembimbing 1)

2. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Penguji)

4. Dr. Eng. Rudi Walujo P, ST, MT. (Penguji)

5. Sujantoko, ST, MT. (Penguji)

SURABAYA, JULI 2017

**ALISA TIME-DOMAIN PENGARUH SPREAD MOORING DENGAN
VARIASI JUMLAH LINE TERHADAP TENSION PADA FLEXIBLE
RISER**

Nama : Dian Fiddini Mahanani
NRP : 4313 100 055
Departemen : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Murdjito, MSc.Eng
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc., Ph.D.

Abstrak

FPU (*Floating Production Unit*) merupakan sebuah fasilitas terapung yang dipasang di sekitar ladang minyak dan gas bumi lepas pantai, yang fungsinya untuk memenuhi kebutuhan fasilitas produksi *crude oil* dan LPG. Untuk menjaga posisi FPU agar tetap *fixed heading* dan meredam gaya dinamis, maka dibutuhkan sebuah sistem tambat dengan tipe *spread mooring*. Pada struktur FPU dilengkapi dengan *flexible riser* yang merupakan salah satu komponen struktur berupa pipa vertikal yang memiliki sifat fleksibel dan berfungsi sebagai pipa penyalur minyak dari *seabed* menuju *deck*. *Tension* pada sistem tambat dan respon FPU sangat mempengaruhi *tension* pada *flexible riser*. Penelitian ini membahas tentang pengaruh *spread mooring* dengan variasi jumlah *line* (8-lines, 12-lines, dan 16-lines) terhadap *tension* pada *flexible riser*. Analisis *tension* tali tambat baik pada kondisi ULS maupun ALS dan analisis *riser* dilakukan berbasis simulasi *time-domain*. Pemodelan dan analisis *motion* FPU menggunakan *software* MOSES dan perhitungan *mooring* dan *riser tension* menggunakan *software* OrcaFlex. Dari hasil analisis diketahui bahwa sistem *spread mooring* dengan 16-lines memberikan pengaruh *mooring tension* dan *offset* FPU yang lebih kecil dibandingkan dengan 8-lines dan 12-lines. Serta diketahui bahwa *spread mooring* dengan jumlah *line* yang semakin banyak (16-lines) memberikan efek terkecil terhadap *riser tension*.

Kata kunci: FPU, *spread mooring*, jumlah *line*, *mooring tension*, *riser tension*, simulasi *time-domain*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

TIME-DOMAIN ANALYSIS OF SPREAD MOORING SYSTEM WITH LINE NUMBER VARIATION TO FLEXIBLE RISER TENSION

Name : Dian Fiddini Mahanani
Reg. Number : 4313 100 055
Department : Ocean Engineering, FTK – ITS
Supervisors : Ir. Murdjito, MSc.Eng
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc., Ph.D.

Abstract

FPU (Floating Production Unit) is one of the floating structure used by the offshore oil and gas industry for the production facility of crude oil and LPG. To reduce the dynamic effect and keep on fixed heading position, spread mooring system was adopted. FPU is equipped with flexible riser which is one of the offshore structural components in the form of vertical pipe that has the properties and functions are flexible as a channel that connects the wellhead with the deck structure. Flexible riser tension will be strongly influenced by mooring tension and FPU response. This study objective is analysis of spread mooring system with line number variation (8-lines, 12-lines, dan 16-lines) to flexible riser tension. Analysis of mooring tension both in ULS and ALS condition and analysis of riser tension is utilizing the time domain simulation. This research performs model and motion characteristic of FPU by using MOSES and calculates maximum tension of riser and mooring line by using OrcaFlex. The analysis with spread mooring system in this research brings out the informations that 16-lines provide smaller mooring lines tension magnitude and offset compared 8-lines and 12-lines. It also shows that spread mooring with 16-lines generate smaller impact to flexible riser tension.

Keyword: FPU, spread mooring, line number, mooring tension, riser tension, time-domain simulation.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW

Tugas Akhir ini berjudul “*Analisa Time-Domain Pengaruh Spread Mooring dengan Variasi Jumlah Line Terhadap Tension pada Flexible Riser*”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini secara khusus akan membahas mengenai simulasi *time-domain* tentang sistem *spread mooring* dengan variasi jumlah *mooring line*, yaitu *8-lines*, *12-lines* dan *16-lines*. Selain itu juga akan membahas mengenai pengaruhnya terhadap kondisi *tension* pada *flexible riser*. Adanya Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah wawasan pembaca tentang sistem *spread mooring*.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran guna meningkatkan kemampuan menyusun laporan yang lebih baik lagi ke depannya. Penulis juga berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 2017

Dian Fiddini Mahanani

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak, Ibu, Adik, Yangti yang tak kenal lelah mendoakan dan memberikan dukungan serta semangat. Tugas Akhir ini penulis persembahkan khusus untuk kedua orang tua penulis.
2. Ir. Murdjito, M.Sc. Eng. selaku dosen pembimbing I dan Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing II.
3. Yuni Ari Wibowo, S.T., M.T. yang tidak henti membagikan ilmu-ilmunya dan senantiasa memberikan motivasi kepada penulis.
4. Arifta Yahya, S.T. dan PT. ZEE Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk belajar dan berlatih menggunakan *software* MOSES dan OrcaFlex.
5. Teman-teman Valtameri Teknik Kelautan Angkatan 2013, khususnya orang terdekat penulis yang senantiasa menemani selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Keluarga Aliansi yang menjadi teman bermain dan belajar yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
7. Sahabat-sahabat di Laboratorium Hidrodinamika FTK ITS yang selalu menjadi teman berkumpul dan berdiskusi untuk saling bertukar ilmu.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada penulis selama menjalani perkuliahan.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas semua bantuan, motivasi dan doanya, semoga mendapat balasan pahala dari Allah SWT. Amin.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 TUJUAN	4
1.4 MANFAAT	4
1.5 BATASAN MASALAH	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	9
2.1 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.2 DASAR TEORI	11
2.2.1 Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung.....	11
2.2.2 Analisis Respon	12
2.2.3 Dasar Analisis Dinamis	12
2.2.4 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Reguler	15
2.2.4.1 Teori Gelombang Reguler	15
2.2.4.2 <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i>	16
2.2.5 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak	18
2.2.5.1 Respon Bangunan Apung pada Gelombang Acak	18
2.2.5.2 Spektrum Gelombang	19

2.2.6 Faktor Non-Linear.....	22
2.2.6.1 Beban Gelombang <i>Second Order</i>	22
2.2.6.2 Beban Angin	23
2.2.6.3 Beban Arus.....	24
2.2.7 Sistem Tambat Menyebar (<i>Spread Mooring</i>)	25
2.2.8 Konfigurasi <i>Flexible Riser</i> Tipe <i>Lazy Wave</i>	26
2.2.9 Penentuan Panjang <i>Mooring Line</i>	27
2.2.10 Analisis Sistem Tambat Kondisi ULS dan ALS	28
2.2.10.1 ULS (<i>Ultimate Limit State</i>).....	28
2.2.10.2 ALS (<i>Acidental Limit State</i>).....	29
2.2.11 <i>Tension</i> pada Tali Tambat.....	29
2.2.12 <i>Offset</i> pada <i>Vessel</i>	30
2.2.13 <i>Tension</i> pada <i>Riser</i>	31
2.2.14 <i>Bending Radius</i> pada <i>Riser</i>	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 METODOLOGI PENELITIAN	35
3.2 PROSEDURE PENELITIAN	36
3.3 PENGUMPULAN DATA	39
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 PEMODELAN STRUKTUR FPU PADA MOSES.....	45
4.2 ANALISIS KARAKTERISTIK GERAKAN STRUKTUR FPU PADA GELOMBANG REGULAR.....	50
4.2.1 Analisis RAO FPU Kondisi <i>Maximum Draft</i> (T=5,81 m)	51
4.2.2 Analisis RAO FPU Kondisi <i>Minimum Draft</i> (T=5,19 m).....	57
4.3 PEMODELAN STRUKTUR FPU PADA ORCAFLEX	63
4.4 PEMODELAN <i>LAZY WAVE FLEXIBLE RISER</i>	67
4.5 PEMODELAN TALI TAMBAT PADA STRUKTUR FPU	69
4.6 ANALISIS <i>MOORING TENSION</i> DAN <i>OFFSET</i> PADA FPU	78
4.6.1 Kondisi <i>Maximum Draft</i> (T=5,81 m)	78
4.6.1.1 <i>Heading</i> 0° ULS	78
4.6.1.2 <i>Heading</i> 0° ALS	83
4.6.1.3 <i>Heading</i> 45° ULS	87

4.6.1.4 Heading 45° ALS.....	92
4.6.1.5 Heading 90° ULS.....	96
4.6.1.6 Heading 90° ALS.....	101
4.6.2 Kondisi <i>Minimum Draft</i> (T=5,19 m)	105
4.6.2.1 Heading 90° ULS.....	106
4.6.2.2 Heading 90° ALS.....	110
4.7 ANALISIS <i>MAXIMUM TENSION</i> DAN <i>MBR (MINIMUM BENDING RADIUS)</i> PADA <i>FLEXIBLE RISER</i>	115
4.7.1 Analisis <i>Maximum Tension</i> pada <i>Flexible Riser</i>	116
4.7.2 Analisis <i>Minimum Bending Radius</i> pada <i>Flexible Riser</i>	121
4.8 ANALISIS PENGARUH VARIASI <i>PRE-TENSION MOORING LINE</i> TERHADAP <i>RISER</i>	125
BAB V PENUTUP.....	131
5.1 KESIMPULAN	131
5.2 SARAN	132
DAFTAR PUSTAKA	133
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Konfigurasi Sistem Tambat <i>Spread Mooring</i>	2
Gambar 1-2 <i>Steel Lazy Wave Riser (SLWR)</i>	3
Gambar 1-3 Desain Skenario <i>Spread Mooring</i> : 8-lines symmetry 45° (a), 12-lines symmetry 45° (b), 16-lines symmetry 45° (c).....	5
Gambar 1-4 <i>Flexible Riser Tipe Lazy Wave</i>	6
Gambar 2-1 FPU West Seno	10
Gambar 2-2 <i>Six Degree of Freedom</i>	11
Gambar 2-3 Bentuk Umum Grafik Respon Gerakan Bangunan Apung	17
Gambar 2-4 Transformasi Spektra Gelombang Menjadi Spektra Respon	19
Gambar 2-5 <i>Spread Mooring with Risers and Umbilicals</i>	26
Gambar 2-6 Konfigurasi Marine Riser	27
Gambar 2-7 Panjang Minimum <i>Mooring Line</i>	27
Gambar 2-8 <i>Tension</i> pada <i>Riser</i>	31
Gambar 2-9 <i>Basic Bend Parameters</i>	33
Gambar 3-1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	35
Gambar 3-2 Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan)	36
Gambar 3-3 <i>General Arrangement</i> FPU West Seno	40
Gambar 3-4 <i>Bangka Location Map and Asset Description</i>	42
Gambar 4-1 Pemodelan <i>Surface Model</i> FPU West Seno Pada MOSES : Tampak Isometri (a), Tampak Atas (b), Tampak Samping (c), Tampak Depan (d).....	46
Gambar 4-2 Pemodelan <i>Compartment</i> FPU West Seno Pada MOSES : Tampak Isometri (a), Tampak Samping (b), Tampak Atas (c), Tampak Depan (d).....	47
Gambar 4-3 3D Model FPU West Seno pada MOSES Tampak Isometri.....	48
Gambar 4-4 RAO <i>surge</i> FPU kondisi <i>free floating (maximum draft)</i>	51
Gambar 4-5 RAO <i>sway</i> FPU kondisi <i>free floating (maximum draft)</i>	52
Gambar 4-6 RAO <i>heave</i> FPU kondisi <i>free floating (maximum draft)</i>	53
Gambar 4-7 RAO <i>roll</i> FPU kondisi <i>free floating (maximum draft)</i>	54
Gambar 4-8 RAO <i>pitch</i> FPU kondisi <i>free floating (maximum draft)</i>	55
Gambar 4-9 RAO <i>yaw</i> FPU kondisi <i>free floating (maximum draft)</i>	56

Gambar 4-10 RAO <i>surge</i> FPU kondisi <i>free floating (minimum draft)</i>	57
Gambar 4-11 RAO <i>sway</i> FPU kondisi <i>free floating (minimum draft)</i>	58
Gambar 4-12 RAO <i>heave</i> FPU kondisi <i>free floating (minimum draft)</i>	59
Gambar 4-13 RAO <i>roll</i> FPU kondisi <i>free floating (minimum draft)</i>	60
Gambar 4-14 RAO <i>pitch</i> FPU kondisi <i>free floating (minimum draft)</i>	61
Gambar 4-15 RAO <i>yaw</i> FPU kondisi <i>free floating (minimum draft)</i>	62
Gambar 4-16 Pemodelan Geometri Struktur FPU Pada OrcaFlex	67
Gambar 4-17 Desain <i>Flexible Riser</i> FPU West Seno – Tampak Samping ...	68
Gambar 4-18 Pemodelan <i>Flexible Riser</i> FPU West Seno Pada OrcaFlex ...	68
Gambar 4-19 Model Tali Tambat Catenary	69
Gambar 4-20 Desain Skenario Variasi Jumlah Mooring Line Tampak Atas : <i>Symmetry 8-lines</i> (a), <i>Symmetry 8-lines</i> (b), <i>Symmetry</i> <i>16-lines</i> (c)	72
Gambar 4-21 Pemodelan Sistem Tambat dan <i>Riser</i> Pada OrcaFlex : Skenario I <i>Symmetry 16-lines</i> (a), Skenario II <i>Symmetry</i> <i>16-lines</i> (b), Skenario III <i>Symmetry 16-lines</i> (c)	77
Gambar 4-22 Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 0°-Kondisi ULS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line 2</i> Skenario I (a), <i>Mooring Line 3</i> Skenario II (b), <i>Mooring Line 4</i> Skenario III (c)	81
Gambar 4-23 Rekam <i>Offset Vessel</i> Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 0°-Kondisi ULS: Ordinat X (a), Ordinat Y (b)	82
Gambar 4-24A Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 0°-Kondisi ALS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line 3</i> Skenario I (a), <i>Mooring Line 4</i> Skenario II (b), <i>Mooring Line 5</i> Skenario III (c)	85
Gambar 4-24B Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 0°-Kondisi ALS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line 3</i> Skenario I (a), <i>Mooring Line 4</i> Skenario II (b), <i>Mooring Line 5</i> Skenario III (c) (lanjutan)	86

Gambar 4-25 Rekam <i>Offset Vessel</i> Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 0°-Kondisi ALS: Ordinat X (a) , Ordinat Y (b)	87
Gambar 4-26 Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 45°-Kondisi ULS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line</i> 4 Skenario I (a), <i>Mooring Line</i> 6 Skenario II (b), <i>Mooring Line</i> 8 Skenario III (c)	90
Gambar 4-27 Rekam <i>Offset Vessel</i> Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 45°-Kondisi ULS: Ordinat X (a), Ordinat Y (b)	91
Gambar 4-28 Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 45°-Kondisi ALS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line</i> 3 Skenario I (a), <i>Mooring Line</i> 4 Skenario II (b), <i>Mooring Line</i> 5 Skenario III (c)	94
Gambar 4-29 Rekam <i>Offset Vessel</i> Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 45°-Kondisi ALS: Ordinat X (a), Ordinat Y (b)	95
Gambar 4-30A Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 90°-Kondisi ULS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line</i> 4 Skenario I (a), <i>Mooring Line</i> 6 Skenario II (b), <i>Mooring Line</i> 8 Skenario III (c)	98
Gambar 4-30B Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 90°-Kondisi ULS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line</i> 4 Skenario I (a), <i>Mooring Line</i> 6 Skenario II (b), <i>Mooring Line</i> 8 Skenario III (c) (lanjutan).....	99
Gambar 4-31 Rekam <i>Offset Vessel</i> Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 90°-Kondisi ULS: Ordinat X (a), Ordinat Y (b)	100
Gambar 4-32A Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 90°-Kondisi ALS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line</i> 3 Skenario I (a), <i>Mooring Line</i> 7 Skenario II (b), <i>Mooring Line</i> 9 Skenario III (c)	103

Gambar 4-32B Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 90°-Kondisi ALS Selama 10800 detik : <i>Mooring Line 3</i> Skenario I (a), <i>Mooring Line 7</i> Skenario II (b), <i>Mooring Line 9</i> Skenario III (c) (lanjutan)	104
Gambar 4-33 Rekam <i>Offset Vessel</i> Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 90°- Kondisi ALS: Ordinat X (a), Ordinat Y (b).....	105
Gambar 4-34 Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 90°-Kondisi ULS (<i>minimum draft</i>) Selama 10800 detik: <i>Mooring Line 4</i> Skenario I (a), <i>Mooring Line 6</i> Skenario II (b), <i>Mooring Line 8</i> Skenario III (c)	108
Gambar 4-35 Rekam <i>Offset Vessel</i> Skenario I (<i>minimum draft</i>) Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 90°- Kondisi ULS : Ordinat X (a) , Ordinat Y (b)	109
Gambar 4-36 Rekam <i>Effective Tension</i> pada Arah Pembebanan 90°-Kondisi ALS (<i>minimum draft</i>) Selama 10800 detik : <i>Mooring Line 3</i> Skenario I (a), <i>Mooring Line 7</i> Skenario II (b), <i>Mooring Line 9</i> Skenario III (c)	113
Gambar 4-37 Rekam <i>Offset Vessel</i> Skenario I (<i>minimum draft</i>) Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 90°- Kondisi ALS : Ordinat X (a) , Ordinat Y (b)	114
Gambar 4- 38A Rekam <i>Riser Tension</i> pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ULS (<i>maximum draft</i>) Selama 10800 detik : Skenario I (a), Skenario II (b), Skenario III (c)	116
Gambar 4- 38B Rekam <i>Riser Tension</i> pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ULS (<i>maximum draft</i>) Selama 10800 detik : Skenario I (a), Skenario II (b), Skenario III (c) (lanjutan).....	117
Gambar 4-39 <i>Maximum Tension</i> Sepanjang <i>Riser Line Length</i> – Skenario Mooring I : (a) ULS, (b) ALS	118
Gambar 4-40 <i>Maximum Tension</i> Sepanjang <i>Riser Line Length</i> – Skenario Mooring II : (a) ULS, (b) ALS	119

Gambar 4-41 <i>Maximum Tension</i> Sepanjang <i>Riser Line Length</i> – Skenario	
Mooring III : (a) ULS, (b) ALS.....	120
Gambar 4- 42Bending Radius Sepanjang <i>Riser Line Length</i> – Skenario	
Mooring I : (a) ULS, (b) ALS	121
Gambar 4-43 Bending Radius Sepanjang <i>Riser Line Length</i> – Skenario	
Mooring II : (a) ULS, (b) ALS	122
Gambar 4- 44Bending Radius Sepanjang <i>Riser Line Length</i> – Skenario	
Mooring III : (a) ULS, (b) ALS.....	123
Gambar 4-45 Grafik Ringkasan Hasil <i>Maximum Tension</i> pada <i>Flexible</i>	
<i>Riser</i>	125
Gambar 4-46 Hasil Grafik <i>Catenary Mooring Line</i> dengan Variasi <i>Pre-</i>	
<i>Tension</i>	127
Gambar 4-47 Pengaruh Variasi <i>Pre-Tension</i> : Terhadap <i>Riser Tension</i> (a),	
Terhadap <i>Offset X</i> (b), Terhdap <i>Offset Y</i> (c)	128

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum	21
Tabel 2.2 Kriteria <i>Safety Factor</i> Tali Tambat.....	30
Tabel 3.1 <i>Principal Dimension</i> dari FPU West Seno	39
Tabel 3.2 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario I (8-lines).....	40
Tabel 3.3 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario II (12-lines)	41
Tabel 3.4 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario III (16-lines)	41
Tabel 3.5 Data Metocean Periode Ulang 100 Tahun	42
Tabel 3.6 Data Properties <i>Flexible Riser</i>	43
Tabel 3.7 Data Properties <i>Floater</i>	43
Tabel 4.1A Properti Hidrostatik FPU West Seno	48
Tabel 4.1B Properti Hidrostatik FPU West Seno (lanjutan)	49
Tabel 4.2 Kriteria validasi model (IASC, 2013)	49
Tabel 4.3 Hasil validasi model FPU	50
Tabel 4.4 Geometri Struktur FPU	63
Tabel 4.5 <i>Displacement</i> dan COG FPU	63
Tabel 4.6 Radius Girasi FPU	64
Tabel 4.7 Momen Inersia FPU	64
Tabel 4.8 Kekakuan Hidrostatik	65
Tabel 4.9A Koefisien Drag Gaya Arus	65
Tabel 4.9B Koefisien Drag Gaya Arus (lanjutan).....	66
Tabel 4.10 Koefisien Drag Gaya Angin.....	66
Tabel 4.11 Koordinat Posisi <i>Flexible Riser</i> pada FPU dan <i>Seabed</i>	67
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Beban Lingkungan	69
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Panjang <i>Mooring Line</i> dan Radius X <i>Scenario I</i>	71
Tabel 4.14 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario I (8-lines).....	73
Tabel 4.15 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario II (12-lines)	73
Tabel 4.16 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario III (16-lines)....	74
Tabel 4.17 Letak fairlead pada <i>symmetry 8-lines</i>	74
Tabel 4.18 Letak jangkar pada <i>symmetry 8-lines</i>	75
Tabel 4.19 Letak fairlead pada <i>symmetry 12-lines</i>	75

Tabel 4.20 Letak jangkar pada <i>symmetry 12-lines</i>	75
Tabel 4.21 Letak fairlead pada <i>symmetry 16-lines</i>	76
Tabel 4.22 Letak jangkar pada <i>symmetry 16-lines</i>	76
Tabel 4.23A Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 0° - ULS.....	79
Tabel 4.23B Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 0° - ULS (lanjutan)	80
Tabel 4.24A Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 0° - ALS.....	83
Tabel 4.24B Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 0° - ALS (lanjutan)	84
Tabel 4.25A Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 45° - ULS.....	88
Tabel 4.25B Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 45° - ULS (lanjutan)	89
Tabel 4.26A Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 45° - ALS.....	92
Tabel 4.26B Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 45° - ALS (lanjutan)	93
Tabel 4.27A Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 90° - ULS.....	96
Tabel 4.27B Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 90° - ULS (lanjutan)	97
Tabel 4.28A Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 90° - ALS.....	101
Tabel 4.28B Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 90° - ALS (lanjutan)	102
Tabel 4.29A Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 90° - ULS.....	106
Tabel 4.29B Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 90° - ULS (lanjutan)	107

Tabel 4.30A Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 90° - ALS	110
Tabel 4.30B Ringkasan Hasil <i>Mooring Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU pada Heading 90° - ALS (lanjutan).....	111
Tabel 4.31 Ringkasan Hasil Analisis <i>Flexible Riser</i>	124
Tabel 4.32 Detail Mooring Skenario I	125
Tabel 4.33 Hasil Perhitungan <i>Pre-Tension</i> Skenario I	126
Tabel 4.34 Hasil <i>Riser Tension</i> dan <i>Offset</i> FPU Akibat Variasi <i>Pre-Tension</i>	127

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A General Arrangement FPU West Seno

LAMPIRAN B Input Pemodelan Struktur pada Moses

LAMPIRAN C Output RAO Kondisi Mengapung Bebas

LAMPIRAN D Validasi Data Hidrostatik

LAMPIRAN E Pemodelan di OrcaFlex

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Seiring perkembangan teknologi eksplorasi minyak dan gas bumi, struktur terpancang yang biasanya untuk perairan dangkal saat ini mulai ditinggalkan dan beralih pada perkembangan anjungan terapung. Salah satu struktur terapung yaitu FPU (*Floating Production Unit*). FPU merupakan sebuah fasilitas terapung yang dipasang di sekitar ladang minyak dan gas bumi lepas pantai yang fungsinya untuk memenuhi kebutuhan fasilitas produksi. Pada proses eksplorasi dan eksploitasi, platform akan melakukan proses pengeboran dan menghasilkan minyak dan gas mentah. Kemudian minyak dan gas mentah tersebut harus diproses menjadi minyak dan gas produk melalui FPU.

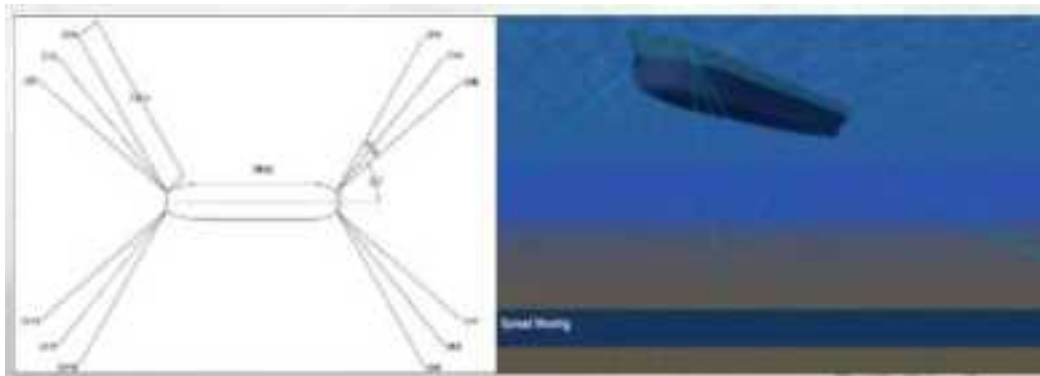
Struktur FPU terdiri dari sebuah struktur apung berbentuk sebuah kapal berukuran besar yang ditambatkan secara permanen di sekitar platform pengeboran. Beban lingkungan di sekitar FPU dapat mempengaruhi gerakan (*motion*) FPU saat melakukan operasinya dalam proses produksi. Untuk menjaga posisi FPU agar tetap *fixed heading* dan meredam gaya dinamis, maka dibutuhkan sebuah sistem tambat (*mooring system*). Gaya-gaya yang terjadi pada sistem tambat sangatlah bergantung pada karakteristik gerakan FPU, begitu pula sebaliknya (Djarmiko, 2003).

Oleh sebab itu, sangat penting untuk menganalisis sistem tambat guna menjaga operabilitas dan keselamatan kinerja FPU. Analisis terhadap sistem tambat dalam berbagai kondisi cuaca juga penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh pendorong dan redaman dari sistem tambat pada berbagai moda gerakan dan kekuatan dari sistem tambat (Yilmaz dan Incecik, 1994).

Menurut Yilmaz dan Incecik (1994), dengan menghitung beban-beban lingkungan secara komprehensif akan diketahui respon dinamis struktur.

Tujuan perhitungan respon dinamis struktur adalah untuk mendapatkan respon ekstrem dari sistem. Salah satu cara untuk melakukan analisa adalah dengan menganalisa respon struktur untuk satu desain data lingkungan misalnya gelombang signifikan 100 tahun, kecepatan angin 100 tahun dan arus 100 tahun (Wibowo, 2014).

Spread mooring merupakan sistem tambat dengan *multiple mooring legs* yang dipasang menyebar pada bagian *bow* maupun *stern*. *Spread mooring* merupakan salah satu sistem tambat yang cocok untuk sarana tambat FPU dimana sesuai fungsinya yaitu fasilitas produksi. Pada FPU yang bagian atasnya terdapat fasilitas produksi *crude oil* dan LPG maka posisi *fixed heading* menjadi suatu kebutuhan yang penting. Maka dari itu digunakan sistem tambat *spread mooring*, karena pergerakan ataupun perputaran dari kapal sangat berpengaruh pada proses produksi LPG.



Gambar 1-1. Konfigurasi Sistem Tambat *Spread Mooring*

(www.emaze.com)

Pada penelitian ini akan dianalisa karakteristik perilaku gerakan dinamis FPU dengan membandingkan hasil *mooring tension* dan *offset* pada FPU dalam tiga variasi jumlah *mooring line*. Pada analisa ini dilakukan dengan variasi jumlah *line* pada sistem tambat *spread mooring*, yaitu dengan 8-lines, 12-lines dan 16-lines. Variasi jumlah *line* yang dilakukan dalam analisis ini adalah pada kondisi *Ultimate Limit State* (ULS) dan *Accidental Limit State* (ALS). ULS merupakan analisis pada kondisi operasi, dimana tali tambat pada FPU bekerja secara utuh tanpa ada *mooring line* yang putus. Sedangkan ALS merupakan analisis yang terjadi pada kondisi operasi tetapi terdapat tali tambat yang putus akibat arah datang beban lingkungan. Analisis

dilakukan dengan menggunakan simulasi *time domain*, dimana pendekatan yang dilakukan akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$.

Pada umumnya, respon FPU, *mooring system* dan *riser* tidak dapat dipisahkan satu sama lain. *Riser* merupakan komponen yang penting karena merupakan pipa penyalur minyak dari *seabed* menuju *deck*. *Tension* pada sistem tambat dan respon FPU sangat mempengaruhi *tension* pada *riser*. Wijaya (2011) pernah melakukan penelitian mengenai analisa tegangan dinamis *flexible riser* akibat motion FPSO saat kondisi *fully loaded* dan *ballast* dengan variasi panjang *flexible riser*. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa respon *vessel* yang dihasilkan sangat mempengaruhi tegangan pada *riser*. Oleh sebab itu, pada penelitian ini sangat penting untuk melakukan analisa pengaruh sistem tambat dan respon FPU terhadap *tension* pada *riser*. Jenis *flexible riser* yang dianalisis pada Tugas Akhir ini adalah tipe *Steel Lazy Wave Riser (SLWR)*.



Gambar 1-2. *Steel Lazy Wave Riser (SLWR)*

(www.petrobras.com)

1.2 RUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang menjadi kajian dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana respon gerak FPU saat terapung bebas (*free floating*)?
2. Bagaimana *mooring tension* dan *offset* pada FPU yang dihasilkan dari tiga variasi jumlah *mooring line* pada kondisi ULS dan ALS?
3. Bagaimana pengaruh *mooring tension* yang dihasilkan dari tiga variasi jumlah *mooring line* terhadap *tension* pada *flexible riser*?

1.3 TUJUAN

Dari perumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai antara lain:

1. Mengetahui respon gerak FPU saat terapung bebas (*free floating*).
2. Mengetahui *mooring tension* dan *offset* pada FPU yang dihasilkan dari tiga variasi jumlah *mooring line* pada kondisi ULS dan ALS.
3. Mengetahui pengaruh *mooring tension* yang dihasilkan dari tiga variasi jumlah *mooring line* terhadap *tension* pada *flexible riser*.

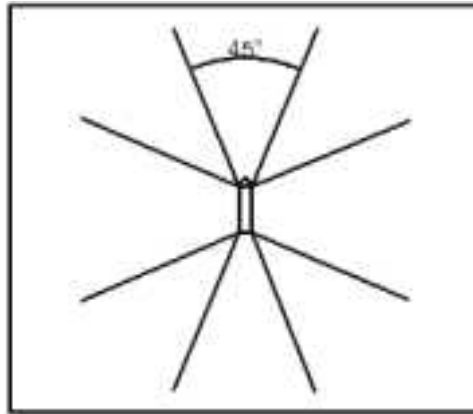
1.4 MANFAAT

Pada penelitian ini akan diketahui bagaimana respon gerak FPU pada saat kondisi terapung bebas (*free floating*) pada 6 derajat kebebasan (*surge, sway, heave, roll, pitch* dan *yaw*). Dalam penelitian ini juga akan diketahui nilai *tension* maksimum yang dihasilkan oleh sistem tambat dan maksimum *offset* yang dialami FPU. Hasil analisis yang didapatkan yaitu pada kondisi ULS dan ALS. Dari hasil *mooring tension* yang didapatkan dilakukan pengecekan terhadap *safety factor* sesuai dengan API RP 2SK. Pengecekan tersebut dilakukan untuk memastikan apakah tali tambat berada dalam batas aman atau tidak. Setelah itu dilakukan analisis pengaruh *mooring tension* dari tiga variasi jumlah line yang telah dilakukan tersebut terhadap *tension* pada *flexible riser*.

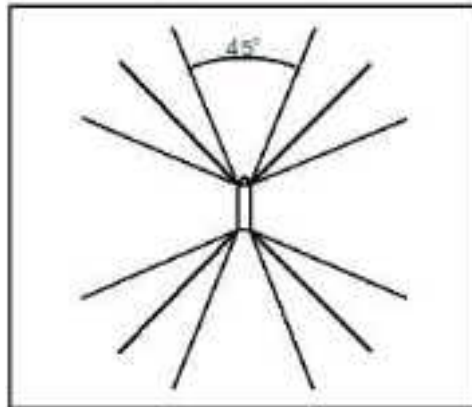
1.5 BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang digunakan agar topik yang dibahas tidak melebar adalah sebagai berikut:

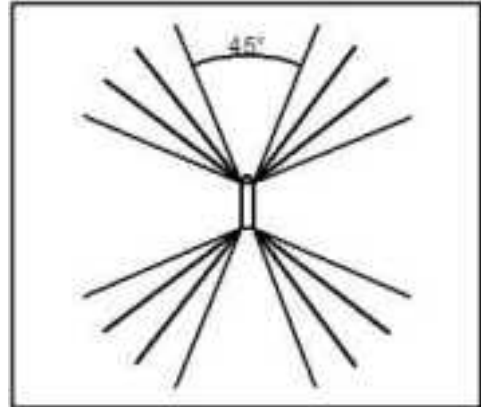
1. Analisis dinamis menggunakan simulasi *time domain* sebagai metode untuk mencari nilai *mooring tension* dan simulasi *frequency domain* untuk mencari *Response Amplitude Operator* (RAO) struktur FPU pada saat *free floating*.
2. Sistem tambat dengan variasi jumlah *mooring lines*, yaitu 8-lines, 12-lines dan 16-lines.



(a)



(b)

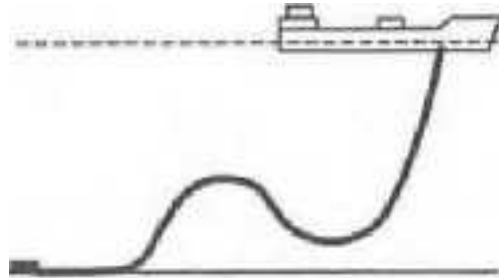


(c)

Gambar 1-3. Desain Skenario *Spread Mooring* : 8-lines symmetry 45° (a), 12-lines symmetry 45° (b), 16-lines symmetry 45° (c)

3. Berat *mooring line/meter* sama pada tiap-tiap grup.
4. Beban lingkungan yang ditinjau adalah beban gelombang, beban angin dan beban arus secara *collinear* pada *heading* 0°, 45° dan 90° pada kondisi lingkungan 100 tahunan.

5. Analisis variasi jumlah *line* yang dilakukan adalah untuk kondisi ULS (*Ultimate Limit State*) dan ALS (*Accidental Limit State*).
6. *Flexible riser* menggunakan tipe *Lazy Wave*.



Gambar 1-4. *Flexible riser* tipe *Lazy Wave*

7. FPU dianggap sebagai *rigid body*, sehingga kekuatan dari FPU tidak diperhitungkan.
8. Pemodelan FPU dan perhitungan RAO *free floating* menggunakan *software* MOSES, sedangkan perhitungan *mooring tension*, *offset* FPU dan *tension* pada *flexible riser* menggunakan *software* OrcaFlex.
9. Permukaan *seabed* dianggap datar.
10. *Marine growth* pada *mooring line* diabaikan.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan, manfaat yang diperoleh, serta ruang lingkup penelitian (batasan masalah) untuk membatasi analisis yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisi referensi dan juga teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam penelitian. Referensi tersebut dapat

berasal dari jurnal lokal maupun internasional, literatur, *rules/code*, tugas akhir terdahulu dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode atau langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang dilengkapi dengan penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data yang diperoleh, kemudian pemodelan struktur dan pemodelan sistem tambat. Selanjutnya, dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dan pengolahan *output* yang diperoleh dari *running software* yang mencakup analisis gerakan struktur saat *free floating*, analisa *tension mooring* dengan tiga variasi jumlah *mooring line*, serta mencari nilai *offset* pada FPU kondisi ULS maupun ALS. Selanjutnya menganalisis pengaruhnya terhadap *tension* pada *flexible riser*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada pada Bab I. Pada bab ini juga berisikan saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Saat ini teknologi eksplorasi minyak dan gas bumi telah jauh berkembang. Mulai dari eksplorasi darat menuju laut dangkal, dan dari laut dangkal menuju laut dalam. Konstruksi bangunan lepas pantai juga semakin berkembang dengan menyesuaikan fungsi beroperasinya struktur dan kondisi lingkungan disekitarnya. Jenis konstruksi yang bisa menjadi alternatif untuk produksi minyak dan gas di laut dalam adalah dengan menggunakan bangunan laut terapung FPU (*Floating Production Unit*).

FPU berfungsi untuk mengakomodasi aktivitas produksi minyak dan gas sebelum ditransfer ke kapal-kapal tanki pengangkut untuk didistribusikan. FPU mempunyai karakteristik untuk bergerak mengikuti kondisi lingkungannya (gerakan gelombang, angin dan arus). Oleh karena itu, untuk menjaga FPU supaya tetap pada posisinya maka diperlukan adanya sistem tambat.

Struktur bangunan laut FPU secara permanen ditambatkan ke dasar laut lokasi beroperasi dengan menggunakan sistem *mooring*. Konfigurasi sistem tambat FPU berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring*). Analisa pada *spread mooring* penting dilakukan berkaitan dengan eksitasi eksternal yang menimbulkan gerakan dan respon struktur pada bangunan laut. *Spread mooring* digunakan untuk melindungi sebuah FPU dengan meminimalkan beban lingkungan yang terjadi sehingga FPU tetap pada posisinya (tidak mengalami *weathervaning*).

Offset pada FPU dipengaruhi oleh sistem *mooring* dan *riser*, sedangkan *offset mooring* tergantung pada karakteristik gerakan FPU yang bisa berubah-ubah disebabkan oleh gaya pengembali dan gaya redaman dari sistem *mooring* dan *riser* (Chen,1994).

Salah satu hal yang perlu diperhatikan yaitu letak dan konfigurasi *mooring line* pada suatu sistem tambat *spread mooring*. Penempatan *line* dan

penerapan sudut sebar sangat berpengaruh terhadap gerakan FPU. Sebisamungkin *heading* FPU searah dengan arah datangnya beban gelombang sehingga memperkecil beban yang bekerja pada FPU.

Terdapat beberapa variasi konfigurasi sebaran yang telah memenuhi pertimbangan dan tercantum di API RP 2P, yaitu 30°-60°, *symetric eight-line*, 45°-90° *eight-line*, *symetric nine-line*, 45°-90° *ten-line*, *symetric ten-line*, *skewwed pattern*, dan *asymmetric pattern*. Pada penelitian ini yang digunakan adalah konfigurasi *symmetric 45°*, dan sebagai pembanding menggunakan variasi jumlah line 8-lines, 12-lines dan 16-lines.

Pada umumnya, respon *vessel*, *mooring tension* dan *riser* tidak dapat dipisahkan satu sama lain. *Riser* merupakan komponen yang penting karena merupakan pipa penyalur minyak dari *seabed* menuju *deck*. *Riser* dapat berupa *flexible riser* maupun *fixed riser*. Pada penelitian ini menggunakan tipe *flexible riser Lazy Wave*.



Gambar 2-1 FPU West Seno
(PT ZEE Indonesia)

2.2 DASAR TEORI

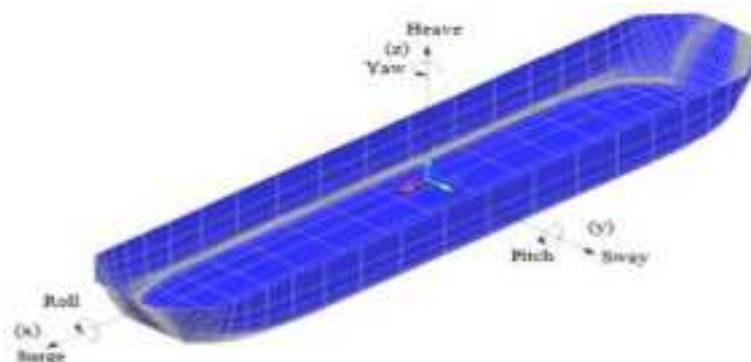
2.2.1. Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung

Bangunan apung (dalam hal ini FPU) memiliki enam mode gerakan bebas (*Six Degree of Freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu (Battacharyya, 1978).

Berikut adalah penjelasan keenam mode gerakan tersebut :

1. Mode Gerak Translasional
 - *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
 - *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
 - *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z
2. Mode Gerak Rotasional
 - *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
 - *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
 - *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

Moda gerakan tersebut dapat dilihat penjelasannya pada gambar 3.2. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z, adalah masing-masing *surge* (ζ_1), *sway* (ζ_2) dan *heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ_4), *pitch* (ζ_5) dan *yaw* (ζ_6).



Gambar 2-2 *Six Degree of Freedom*
(Wibowo, 2014)

2.2.2. Analisis Respon

Respon bangunan apung terhadap gerakan frekuensi gelombang menurut Kwan (1991) dapat diprediksi dengan salah satu dari dua metode berikut:

1. Analisis Kuasi-statis

Dalam pendekatan ini, beban gelombang dinamis dicatat oleh *offset* statis bangunan apung yang didefinisikan oleh gerakan gelombang yang diinduksi. Hanya gerakan horisontal yang dijadikan acuan. Beban yang disebabkan oleh gerakan *fairlead* vertikal dan dinamika sistem *mooring* itu sendiri, seperti efek massa, percepatan fluida dan redaman, diabaikan.

2. Analisis Dinamis

Analisis dinamis memperhitungkan respon dinamis dari tali tambat. Efek variasi waktu akibat massa tali tambat, redaman, dan percepatan relatif fluida disertakan. Dalam pendekatan ini, gerakan *fairlead* variasi waktu dihitung dari gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *pitch*, *roll* dan *yaw* dari bangunan apung.

2.2.3. Dasar Analisis Dinamis

Berdasarkan DNV OS E301 (2004), metode analisis simulasi domain pada bangunan lepas pantai dibagi menjadi dua, yaitu:

1. *Frequency Domain Analysis* (Analisis Dinamis Berbasis Ranah Frekuensi)

Frequency domain analysis adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Metode ini bisa digunakan untuk memperkirakan respon gelombang acak, seperti gerakan dan percepatan *platform*, gaya tendon, dan sudut. Setelah mendapatkan koefisien hidrodinamik dan gaya gelombang yang bekerja pada bangunan apung, maka persamaan gerak untuk single body dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{k=1}^6 [(M + A)\ddot{\eta} + B\dot{\eta} + C\eta] = Fe^{-i\omega_e t} \quad (2.1)$$

dengan,

- M = Massa struktur (*generalized mass*)
- A = Massa tambah (*added mass*)
- B = Koefisien redaman (*damping*)
- C = Koefisien pengembali (*restoring*)
- F = Amplitudo gelombang dan komponen momen yang didefinisikan sebagai komponen dari $Fe^{-i\omega_e t}$.

Analisis berbasis ranah frekuensi dilakukan untuk menentukan respon bangunan struktur pada gelombang reguler yang disajikan dalam bentuk *Respon Amplitude Operator*. Keuntungan metode ini adalah tidak membutuhkan banyak waktu untuk perhitungan, *input* dan *output* juga lebih sering digunakan oleh perancang. Kekurangannya adalah untuk setiap persamaan *non-linear* harus diubah menjadi *linear*.

2. *Time domain analysis* (Analisis Dinamis Berbasis Ranah Waktu)

Jika suatu sistem linier dan beban gelombang yang bekerja hanya terdiri dari *orde-1* maka beban yang diterima maupun respon yang dihasilkan juga dalam bentuk linier sehingga dapat diselesaikan dengan analisis dinamis berbasis ranah frekuensi (*frequency domain analysis*). Sedangkan jika terkandung di dalamnya faktor-faktor non linier, seperti beban gelombang *second order*, *non-linier viscous damping*, gaya dan momen akibat angin dan arus maka perhitungan *frequency domain analysis* menjadi kurang relevan. Oleh karena itu untuk mengakomodasi faktor-faktor non linier tersebut maka persamaan gerak dari hukum-2 Newton diselesaikan dalam fungsi waktu atau yang lebih dikenal dengan istilah analisis dinamis berbasis ranah waktu (*time domain analysis*).

Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$. Metode analisis *time domain* umumnya seperti program komputer dapat digunakan untuk menganalisis semua situasi tali tambat dibawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang.

Periode awal harus dimaksimalkan untuk meminimalkan efek transient. Namun, metode ini membutuhkan proses yang lebih kompleks dan waktu yang lama (membutuhkan simulasi *time history*). *Time history* memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar, dan lain-lain. Penyelesaian dengan metode *time domain* dikenalkan oleh Cummins (1962) dengan mendefinisikan waktu mula-mula, akhir dan selisih waktunya sebagai dasar penyelesaian *time domain*, menurut Cummins (1962) persamaan gerak dapat dituliskan sebagai :

$$\sum_{k=1}^6 [(M + A) \cdot \ddot{x}(t) + \int_0^\infty B(t - \tau) \cdot \dot{x}(\tau) \cdot d\tau + C \cdot x(t)] = X(t) \quad (2.2)$$

dengan,

$\ddot{x}(t)$	= percepatan translasi/rotasi pada waktu t
$\dot{x}(t)$	= kecepatan translasi/rotasi pada waktu t
$x(t)$	= perpindahan translasi/rotasi pada waktu t
M	= massa struktur
A	= massa tambah
$B(t), B(\tau)$	= fungsi retardasi/hambatan
C	= kekakuan
$X(t)$	= gaya eksternal pada waktu t
t, τ	= waktu

Output dari simulasi *time domain* adalah:

- Simulasi gelombang reguler dapat digunakan untuk memprediksi fungsi transfer dengan mengambil rasio amplitudo respon dengan input amplitudo gelombang.
- Spektrum respon dapat dihitung dari *time series*, informasi yang diberikan sama dengan analisa domain frekuensi.
- Respon ekstrim dapat disimulasi langsung dari puncak respon selama simulasi.

Keuntungan metode ini dibandingkan *frequency domain* adalah semua tipe *non-linear* (matrik sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Sedangkan kerugiannya adalah

membutuhkan waktu perhitungan yang lebih lama. Menurut DNV OS E301 (2010), minimal simulasi *time domain* adalah selama 3 jam.

2.2.4 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Reguler

2.2.4.1 Teori Gelombang Reguler

Dengan mengasumsikan kondisi dasar laut adalah rata dan batasan horisontal pada permukaan bernilai tak hingga maka teori gelombang linear atau yang lebih dikenal dengan teori gelombang Airy dapat diterapkan. Teori gelombang Airy merupakan teori gelombang yang paling sering digunakan dalam menghitung beban gelombang (*wave load*) yang terjadi pada struktur. Teori gelombang Airy juga bisa disebut dengan teori gelombang amplitudo kecil, yang menjelaskan bahwa asumsi tinggi gelombang adalah sangat kecil jika dibandingkan terhadap panjang gelombang atau kedalaman laut. Periode gelombang diasumsikan sebagai variable konstan yang tidak berubah terhadap waktu. Jadi jika dilaut diukur periode gelombang adalah 10 detik, maka periodenya akan tetap 10 detik selama gelombang tersebut menjalar. Nama Teori Gelombang Airy merupakan penghargaan kepada Sir.George Biddell Airy (1845) yang telah menemukan teori ini.

Adapun persamaan-persamaan yang dari teori gelombang Airy adalah sebagai berikut :

- Kecepatan potensial (ϕ)

$$\phi = \frac{gA}{\omega} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (2.3)$$

- Kecepatan fluida (v_z)

$$v_z = -A\omega \frac{\sinh(kz-kd)}{\sinh(kd)} \sin(\omega t - k.x) \quad (2.4)$$

- Percepatan fluida (a_z)

$$a_z = -A\omega^2 \frac{k}{\sinh(kd)} \cos(\omega t - k.x) \quad (2.5)$$

dengan,

A = amplitudo gelombang

ω	= frekuensi alami gelombang
k	= nomor gelombang
d	= kedalaman laut

2.2.4.2 Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon yang terjadi akibat gelombang yang mengenai struktur dalam rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur.

RAO memuat informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut yang disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu, ζ_{k0} , dengan amplitudo gelombang, ζ_0 . Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus:

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} \quad (\text{m/m}) \quad (2.6)$$

dengan:

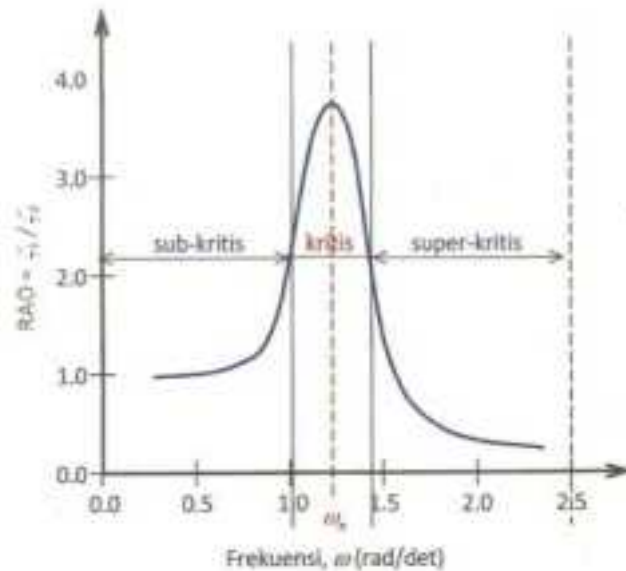
$\zeta_{k0}(\omega)$ = amplitudo struktur (m)

$\zeta_0(\omega)$ = amplitudo gelombang (m)

Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang) (Djarmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sama dengan persamaan 3.6 di atas.

Sedangkan untuk respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ($k_w = \omega^2/g$) dengan amplitudo gelombang insiden (Djarmiko, 2012):

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} \text{ (rad/rad)} \quad (2.7)$$



Gambar 2-3 Bentuk Umum Grafik Respon Gerakan Bangunan Apung
(Djarmiko, 2012)

Berdasarkan **Gambar 2.3**, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau $\omega^2 < k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih

besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.

- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana $\omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).

2.2.5. Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak

2.2.5.1. Respon Bangunan Apung pada Gelombang Acak

Respons bangunan apung pada khususnya kapal yang diakibatkan oleh eksitasi gelombang acak telah diperkenalkan pertama kali oleh St. Denis dan Pierson (1953). Gerakan bangunan apung dalam kondisi ideal dapat dihitung sebagai reaksi adanya eksitasi gelombang sinusoidal, dengan karakteristik tinggi atau amplitudo dan frekuensi tertentu. Perhitungan kemudian dilakukan dengan mengambil amplitudo gelombang yang konstan, namun harga frekuensinya divariasikan dengan interval kenaikan tertentu.

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah tidak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang mempunyai tingkat energi tertentu yang dikontribusikan, yang kemudian secara keseluruhan diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djarmiko, 2012).

Dalam analisis respon bangunan apung pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping* dan gaya eksternal. Analisis tersebut menghasilkan respon struktur pada gelombang reguler. Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi

spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan respon struktur secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.8)$$

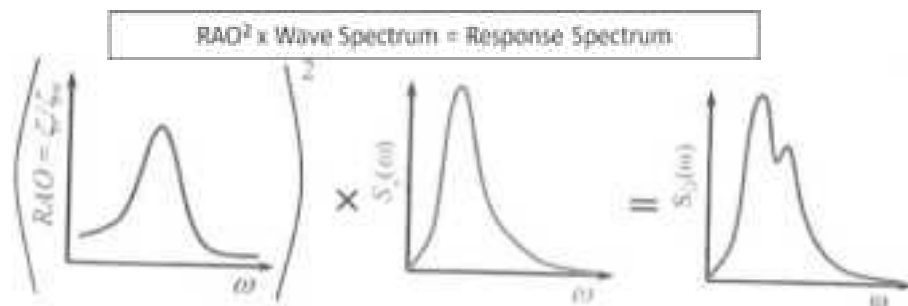
dengan :

S_R = spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = transfer function

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)



Gambar 2-4 Transformasi Spektra Gelombang Menjadi Spektra Respons

(Djarmiko, 2012)

2.2.5.2. Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum energi gelombang atau biasa dikenal spektrum gelombang untuk memperoleh respon spektra suatu struktur didasarkan pada kondisi real laut yang ditinjau. Bila tidak ada, maka dapat digunakan model spektrum gelombang yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Metode yang diterapkan

untuk menganalisis rekaman gelombang menjadi kurva spektrum energi gelombang pada dasarnya adalah mentransformasikan rekaman gelombang acak dalam domain waktu menjadi kurva spektra energi gelombang dalam domain frekuensi, dengan menggunakan algoritma matematika deret Fourier. Algoritma yang digunakan telah dikembangkan sedemikian rupa sehingga proses tranformasi secara numerik dapat dilakukan dengan cepat, yang kemudian dikenal sebagai FFT (*Fast Fourier Transform*).

Hasil FFT yang telah diproses, melalui penghalusan dan penyaringan, selanjutnya diplot dalam grafik, dengan absis berupa frekuensi gelombang, ω , dan ordinat berupa spektra kepadatan energi gelombang, $S_{\zeta}(\omega)$. Dari setiap kurva spektra akan dapat dilakukan komputasi sebagai parameter statistik gelombang : tinggi signifikan, tinggi rata-rata, periode puncak rata-rata, dan lain sebagainya. Kurva spektra rata-rata yang telah didapatkan, selanjutnya dilakukan penelitian untuk menyusun persamaan matematis atau formula spektra gelombang.

Setelah spektrum gelombang diperoleh maka intensitas gerakan dapat dihitung sebagai fungsi luasan di bawah kurva spektrum gelombang atau merupakan variasi elevasi permukaan gelombang, yaitu sebagai berikut :

$$m_{r0} = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (2.9)$$

Berdasarkan persamaan diatas jika diturunkan akan didapatkan harga-harga statistik gerakan sebagai fungsi varian elevasi gerakan m_{r0} , yaitu misalnya sebagai amplitudo gelombang rata-rata yang dihitung sebagai :

$$\bar{\zeta}_r = 1.25\sqrt{m_{r0}} \quad (2.10)$$

Harga amplitudo gelombang signifikan dihitung sebagai :

$$\zeta_{rs} = 2.0\sqrt{m_{r0}} \quad (2.11)$$

Dan amplitudo respon ekstrim yang berpeluang terjadi dalam waktu T jam dapat dihitung dengan persamaan :

$$\hat{\zeta}_r = \sqrt{m_{r0}} \times \sqrt{\left\{2 \ln \left(\frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{r2}}{m_{r0}}} \right)\right\}} \quad (2.12)$$

Harga m_{r2} merupakan momen kedua dari luasan di bawah kurva spektrum respon.

Tabel 2.1 Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1.25 \sqrt{m_0}$	$2.5 \sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2.00 \sqrt{m_0}$	$4.00 \sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi	$2.55 \sqrt{m_0}$	$5.00 \sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 gelombang tertinggi	$3.44 \sqrt{m_0}$	$6.67 \sqrt{m_0}$

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam perhitungan adalah model Pierson-Moskowitz (1964), ISSC (1964), Scott (1965), Bretschneider (1969), JONSWAP (1973), ITTC (1975) dan Wang (1991). Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang JONSWAP karena karakteristik perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan sehingga cocok dengan karakter spektrum JONSWAP (Djarmiko, 2012).

Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan yang dilakukan di North Sea. Persamaan spektrum JONSWAP dapat dituliskan dengan memodifikasi persamaan spektrum Pierson-Moskowitz (DNV RP-C205, 2010), yaitu :

$$S_j(\omega) = A_j S_{pm}(\omega) \gamma^{\exp\left[-0.5\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right]} \quad (2.13)$$

dengan,

$$\begin{aligned} S_{pm}(\omega) &= \text{Spektra Pierson-Moskowitz} \\ &= \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^2 \omega^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right] \end{aligned} \quad (2.14)$$

γ	= parameter puncak (<i>peakedness parameter</i>)
σ	= parameter bentuk (<i>shape parameter</i>) untuk $\omega \leq \omega_0 = 0,07$ dan $\omega \geq \omega_0 = 0,09$
A_γ	= <i>normalizing factor</i> $= 1 - 0.287 \ln(\gamma)$
ω	= <i>wave frequency</i> (rad/sec)
ω_p	= <i>angular spectral peak frequency</i> ($2\pi / T_p$) (rad/sec)
H_s	= tinggi gelombang signifikan (m)
T_p	= periode puncak (s)

2.2.6. Faktor Non-Linear

Untuk memenuhi kondisi yang mendekati kenyataan pada analisis respon struktur maka faktor-faktor non linear harus dipertimbangkan dalam perhitungan. Adapun faktor-faktor non linear yang perlu diperhitungkan adalah sebagai berikut:

2.2.6.1. Beban Gelombang

Beban gelombang merupakan beban lingkungan yang memberikan efek terbesar terhadap bangunan lepas pantai. Terdapat beberapa teori yang dapat digunakan untuk perhitungan gaya gelombang. Pada analisis ini, teori yang digunakan adalah teori difraksi. Jika suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

Untuk gaya gelombang *time series* dapat di bangkitkan dari spektrum gelombang sebagai *First Order* dan *Second Order*. *First Order* adalah gelombang dengan periode kecil yang daerah pembangkitnya di daerah itu sendiri dan berpengaruh dominan pada gerakan bangunan apung. Berikut adalah persamaan gaya gelombang first order.

$$F_{WV}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{WV}^{(1)}(\omega_i) \cos(\omega_i t + \varepsilon_i) \alpha_i \quad (2.15)$$

Dimana :

$F_{wv}^{(1)}(t)$ = Gaya gelombang *First Order* fungsi waktu

$F_{wv}^{(1)}(\omega)$ = Gaya exciting gelombang *First Order* per unit Amplitudo gelombang

ε_j = Sudut fase komponen gelombang *First Order*

α_i = Amplitudo komponen gelombang *First Order*

Second Order adalah gelombang dengan periode tinggi yang daerah pembangkitnya tidak di daerah tersebut (jauh dari lokasi gelombang terjadi). Berikut adalah persamaan gaya gelombang *Second Order*.

$$F_{wv}^{(2)}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j D_{ij} \cos [(\omega_i - \omega_j)t + (\varepsilon_i - \varepsilon_j)] \quad (3.16)$$

D_{ij} = *Drift force* per unit amplitudo gelombang

2.2.6.2. Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, tetapi beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan bangunan lepas pantai pada umumnya, perhitungan beban angin didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrim dengan periode ulang 100 tahun. Semakin lama periode ulang yang digunakan, maka resiko kegagalan semakin besar.

Berdasarkan OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidelines*, perhitungan beban angin didefinisikan sebagai berikut :

Longitudinal wind force

$$F_{xw} = C_{xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \quad (2.17)$$

Lateral wind force

$$F_{yw} = C_{yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \quad (2.18)$$

dengan,

F_{xw}	= gaya angin longitudinal (kN)
F_{yw}	= gaya angin lateral (kN)
C_{xw}	= koefisien gaya angin longitudinal non dimensional
C_{yw}	= koefisien gaya angin transversal non dimensional
ρ_w	= densiti udara = 1.223 Kg/m ³ pada 20 ⁰ C
V_w	= kecepatan angin pada ketinggian 10 m (knot)
A_T	= luas penampang transversal diatas air (m ²)
A_L	= luas penampang longitudinal diatas air (m ²)

2.2.6.3. Beban Arus

Selain gelombang dan angin, arus juga memberikan gaya terhadap struktur bangunan lepas pantai. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi *non-linear*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi *linear*.

Berdasarkan OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidelines*, perhitungan beban arus didefinisikan sebagai berikut :

Longitudinal current force

$$F_{xc} = C_{xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \quad (2.19)$$

Lateral current force

$$F_{yc} = C_{yc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \quad (2.20)$$

dengan,

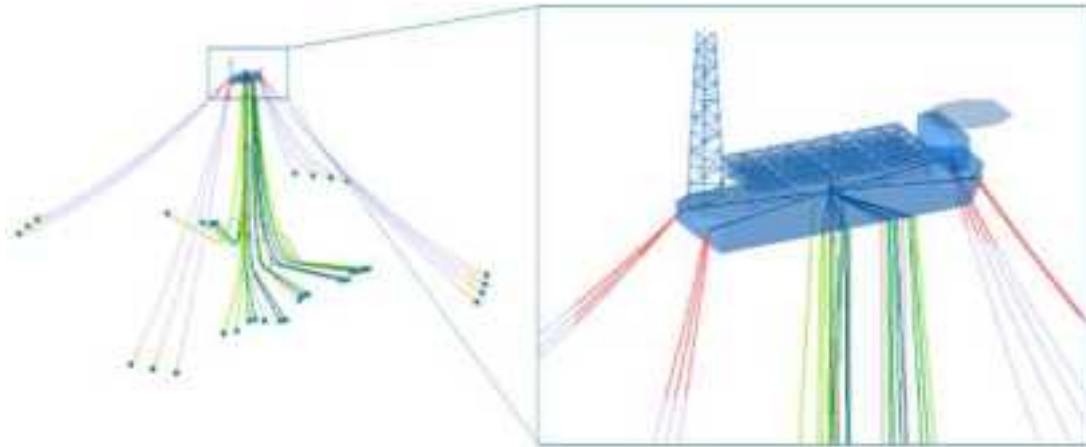
F_{xc}	= gaya arus longitudinal (kN)
F_{yc}	= gaya arus lateral (kN)
C_{xc}	= koefisien gaya arus longitudinal non dimensional
C_{yc}	= koefisien gaya arus transversal non dimensional
ρ_c	= densiti air laut = 1025 Kg/m ³ pada 20 ⁰ C

V_c	= kecepatan arus (m/s)
T	= draft kapal (m)
L_{BP}	= <i>length between perpendicular</i> (m)

2.2.7. Sistem Tambat Menyebar (*Spread Mooring*)

Sistem tambat (*mooring system*) pada FPU berfungsi untuk menjaga posisi FPU supaya tetap berada pada tempatnya. Secara garis besar, konfigurasi sistem tambat bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring*) dan jenis tambat titik tunggal (*single point mooring*). *Spread mooring* merupakan salah satu cara yang cocok untuk sarana tambat FPU karena sistem *spread mooring* ini memungkinkan kapal untuk bergerak atau berputar mencapai posisi dimana ditemukan efek-efek lingkungan seperti angin, arus dan gelombang. Tapi kita ketahui cara ini akan mengakibatkan beban lingkungan terhadap kapal akan menjadi semakin besar, sehingga dapat mengakibatkan bertambahnya jumlah *mooring lines* dan *line tension*-nya.

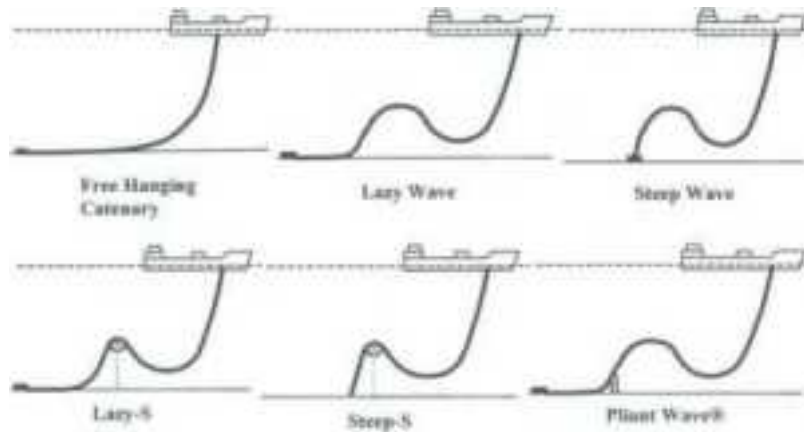
Adapun peralatan yang biasa digunakan yaitu peralatan umumnya yang sudah tersedia di kapal. Pada system ini digunakan satu set *anchor legs* dan *mooring lines* yang terletak pada posisi *bow* dan *stern* kapal. Peralatan-peralatan yang digunakan relative sederhana maka tidak perlu *dry docking* untuk melakukan modifikasi terhadap mooring systemnya. *Spread mooring* ini dapat kita diterapkan pada setiap tipe kapal tapi kita harus tetap perhatikan fasilitas produksi di atas kapal. Pada FPU yang pada bagian atasnya ada terdapat fasilitas produksi *crude oil* dan LPG maka posisi *fixed heading* menjadi suatu kebutuhan yang penting maka dari itu digunakan sistem tambat *spread mooring*, karena pergerakan ataupun perputaran dari kapal begitu sangat berpengaruh pada proses produksi LPG. Sistem tambat *spread mooring* ini peralatan *offloading* biasanya terletak di bow atau stern kapal.



Gambar 2-5 *Spread Mooring with Risers and Umbilicals*
(MCE Deepwater Development, 2016)

2.2.8. Konfigurasi *Flexible Riser Tipe Lazy Wave*

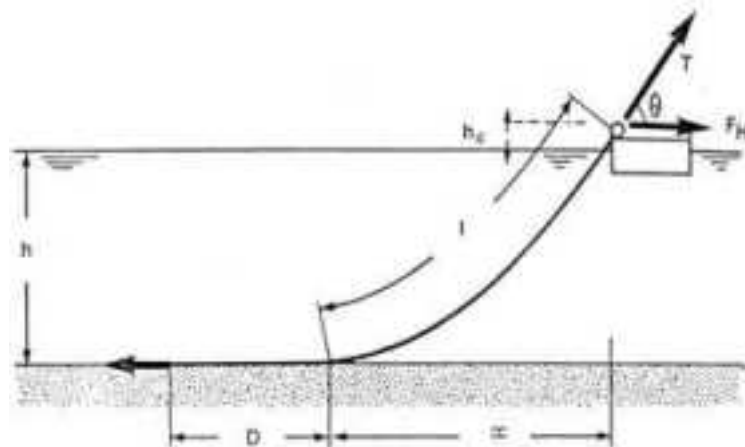
Berdasarkan jenisnya, *riser* dapat berupa *flexible riser* atau *fixed riser*. *Flexible riser* pada umumnya digunakan pada perairan dalam, sedangkan *fixed riser* lebih sering diaplikasikan pada perairan dangkal. Ada beberapa tipe konfigurasi *riser* yang pada umumnya terpasang pada struktur lepas pantai terapung. Menurut (Yong Bai, 2005) beberapa konfigurasi *riser* yaitu *Free Hanging Catenary*, *Lazy S*, *Steep S*, *Lazy Wave*, *Steep Wave*, dan *Pliant Wave*. Pada penelitian ini menggunakan tipe *flexible riser Lazy Wave*, dimana ditambahkan berat dan *bouyancy* sepanjang yang dibutuhkan untuk menjaga *touch down point* dari efek pergerakan struktur. Tipe *Lazy Wave* tidak banyak membutuhkan *subsea infrastructure* dan bisa digunakan pada kondisi gelombang tinggi.



Gambar 2-6 Konfigurasi *Marine Riser*
(Yong Bai, 2001)

2.2.9. Penentuan Panjang *Mooring Line*

Penentuan panjang *mooring line* berfungsi supaya FPU pada penambatannya memiliki posisi yang tepat. Dan juga supaya *mooring line* itu sendiri memiliki panjang dan *pretension* yang sesuai.



Gambar 2-7 Panjang Minimum *Mooring Line*
(Faltinsen, 1990)

Berikut adalah penentuan panjang minimum dari *mooring line* (*basic equation*).

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2 F_H}{w h} + 1} \quad (2.21)$$

atau

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2T}{wh} - 1} \quad (2.22)$$

dengan :

l = panjang minimum tali tambat

h = jarak vertical dari *fairlead* ke *seabed* = $h_m + h_c$

h_m = kedalaman air

h_c = tinggi *fairlead* di atas permukaan air

w = berat tali tambat yang tercelup air per satuan panjang

F_H = gaya horizontal pada *fairlead*

T = *tension line* pada *fairlead*

D = panjang aman tali tambat yang menempel pada *seabed*

Harga D dapat diasumsikan berdasarkan tipe dari tali tambat, yaitu:

- 200 s/d 300 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *wire rope anchor lines*.
- 50 s/d 100 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *chain anchor lines*.

2.2.10. Analisis Sistem Tambat pada Kondisi ULS dan ALS

Menurut API RP 2SK 2nd edition, analisis kekuatan sistem tambat dilakukan dalam dua kondisi pembebanan, yaitu kondisi *Ultimate Limit State* (ULS) dan *Accidental Limit State* (ALS). Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai dua kondisi pembebanan tersebut.

2.2.10.1. ULS (*Ultimate Limit State*)

Analisis ULS (*Ultimate Limit State*) dilakukan untuk memastikan bahwa sebuah tali tambat cukup kuat untuk bertahan terhadap efek beban yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada kondisi ekstrim. Dalam analisis *mooring* kondisi ULS, pembebanan terjadi pada kondisi operasi dimana tali tambat pada FPU bekerja secara optimum/utuh tanpa ada *line* yang diputus.

2.2.10.2. ALS (*Accidental limit State*)

Analisis ALS (*Accidental Limit State*) dilakukan untuk memastikan bahwa suatu sistem tambat memiliki kapasitas yang cukup untuk bertahan pada kegagalan sebuah tali tambat dimana penyebab dari terjadinya kegagalan tersebut tidak diketahui. Dalam analisis *mooring* kondisi ALS, pembebanan terjadi pada kondisi operasi tetapi terdapat satu tali tambat yang diputus secara bebas. Analisis ini biasa disebut dengan analisis *one line damaged*.

2.2.11. *Tension* pada Tali Tambat

Gerakan pada FPSO karena pengaruh beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan pada *mooring line*. Tarikan (*tension*) yang terjadi pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

a. *Mean Tension*

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada vessel.

b. *Maximum Tension*

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*.

Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T = T_H + wh \quad (2.23)$$

dengan :

T = *tension* maksimum tali tambat (ton)

T_H = *tension* horizontal (ton)

w = berat *chain* di air (ton/m)

h = kedalaman perairan (m)

Untuk mengetahui apakah desain sistem tambat pada suatu struktur telah memenuhi batas aman atau tidak, maka harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu. Pengecekan tersebut salah satunya didasarkan pada nilai *tension* yang dihasilkan oleh masing-masing tali tambat. Nilai *tension*

pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria/batasan yang memenuhi *safety factor*. Kriteria *safety factor* tersebut berdasar pada suatu *rule*. Dan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah mengacu pada *rule* API RP 2SK (2005), yakni sebagai berikut.

Tabel 2.2 Kriteria *Safety Factor* Tali Tambat

Condition	Safety Factor
Intact (ULS)	> 1.67
Damaged (ALS)	> 1.25

Dengan persamaan *safety factor* menurut API RP 2SK adalah:

$$Safety\ Factor = \frac{Minimum\ Breaking\ Load}{Maximum\ Tension} \quad (2.24)$$

2.2.12. Offset Pada Vessel

Offset atau *excursion* merupakan perpindahan koordinat *vessel* dengan jarak sejauh X meter dan Y meter setelah terkena beban dinamis (gelombang, angin, arus) dan merupakan salah satu bentuk respon dari struktur pada saat mendapatkan beban lingkungan. *Offset* dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

1. *Mean Offset*

Displacement dari *vessel* karena kombinasi dari pengaruh beban arus, gelombang, dan *wave drift* rata-rata angin.

2. *Maximum Offset*

Mean offset yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency motion*

Maximum Offset ditentukan dengan prosedur yang dijelaskan dalam persamaan berikut ini (API RP 2SK)

1. $S_{lfmax} > S_{wfm}$, maka :

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig}$$

2. $S_{wfmax} > S_{lfmax}$, maka :

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig}$$

Dengan :

S_{mean} = mean vessel offset

S_{max} = maximum vessel offset

S_{wfmax} = maximum wave frequency motion

S_{wfsig} = significant wave frequency motion

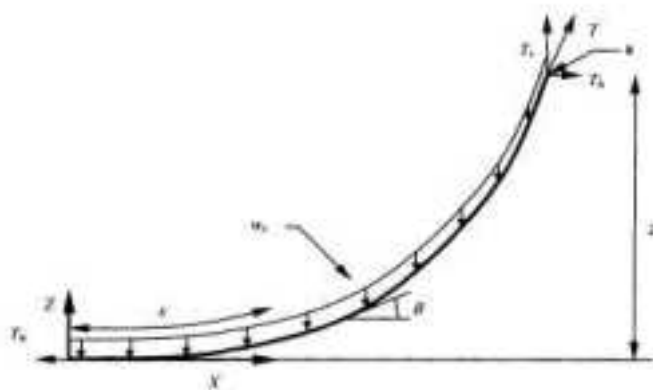
S_{lfmax} = maximum low-frequency motion

S_{lfsig} = significant low-frequency motion

Alternatif lain yang dapat digunakan dengan menggunakan *time domain*, *frequency domain*, kombinasi keduanya atau model *testing*, *mean offset* yang diijinkan adalah 2% hingga 4% kedalaman perairan sedangkan untuk *maximum offset* dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kedalaman perairan, lingkungan dan sistem riser. Tetapi pada umumnya pada *range* 8% sampai 12% dari kedalaman perairan (API RP 2P).

2.2.13. Tension pada Riser

Perhitungan tension dan compression pada riser menggunakan persamaan yang terdapat pada Yong Bai “Pipeline and Risers” (2005) dan untuk compression adalah nilai tension yang bernilai negatif, dan dapat diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 2-8. Tension Pada Riser

(Yong Bai, 2005)

Gaya vertikal pada riser adalah berat riser pada saat tercelup air dengan panjang kelengkungan dari riser. Persamaan gaya vertikal pada riser adalah sebagai berikut

$$T_v = W_s \cdot S \quad (2.25)$$

Keterangan :

T_v = Gaya vertikal pada riser

W_s = Berat riser pada saat di air

S = Panjang kelengkungan pada riser

Dari ilustrasi gambar diatas, sudut antara bidang x-y dengan riser dapat dibentuk dengan persaan sebagai berikut :

$$\tan \theta = \frac{T_v}{T_h} \quad (2.26)$$

Sehingga dapat diketahui persamaan untuk mencari horizontal tension force yaitu

$$T_h = \frac{T_v}{\tan \theta} \quad (2.27)$$

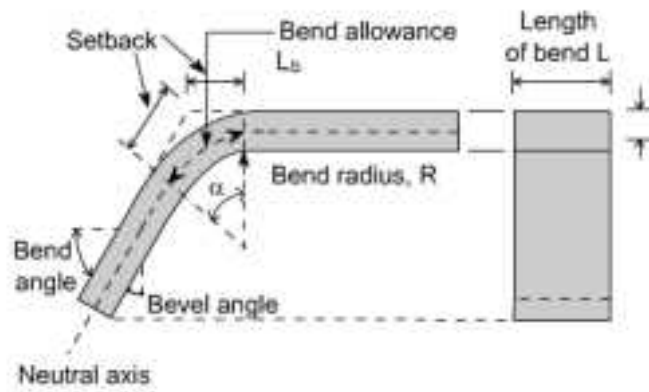
Keterangan

T_h = Horizontal tension force

2.2.14. Bending Radius Pada Riser

Bending radius adalah radius yang diukur pada bagian dalam bengkokan setelah mengalami bending. Semakin besar *bending radius*, maka semakin rendah resiko terjadinya *fracture* dan semakin rendah terjadinya *drop strength* (penurunan kekuatan). Sebaliknya, semakin kecil *bending radius* maka semakin kecil ketebalan material pada *bending point* dan semakin tinggi resiko terjadinya kegagalan.

Minimum bending radius adalah radius minimum bending yang mungkin terjadi, sebelum material mengalami *fracture*.



Gambar 2-9. Basic Bend Parameters

(nptel.ac.in)

Persamaan untuk menentukan bending radius dapat dilihat sebagai berikut

$$L_b = a (R + kt) \quad (2.28)$$

Keterangan :

L_b = bend allowance (mm)

a = bend angle (radian)

$$= 2\pi \cdot \frac{60}{360} \text{radian}$$

R = bend radius (mm)

t = thickness of sheet (mm)

k = constant, 1/3 jika $R < 2t$, dan 1/2 jika $R > 2t$.

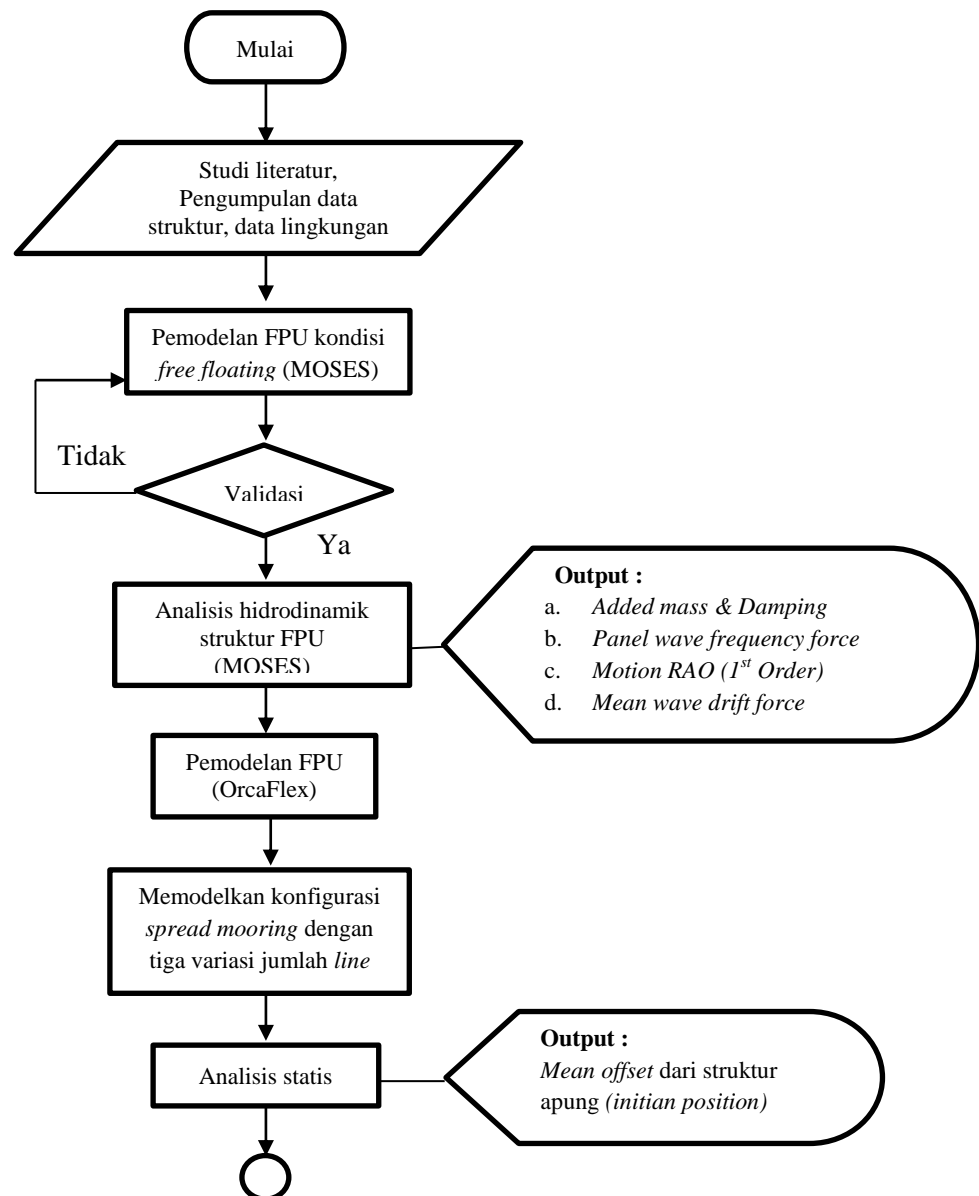
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

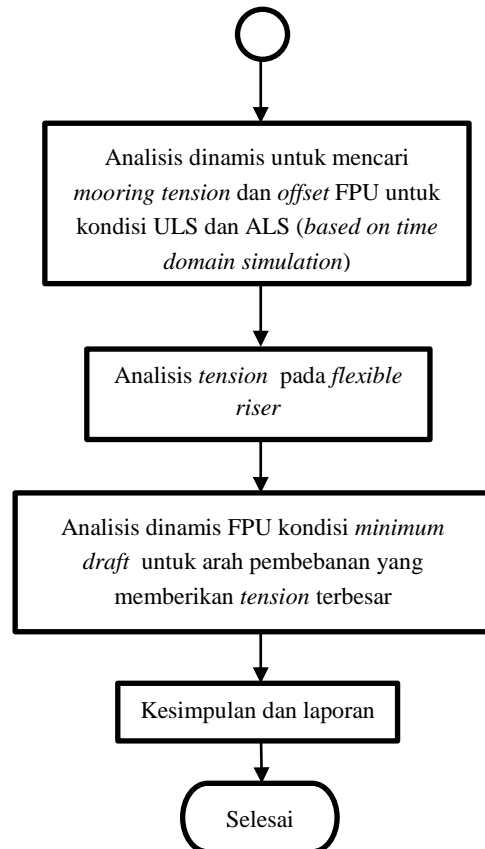
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Alur pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3-1. Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3-2. Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan)

3.2 PROSEDUR PENELITIAN

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada Metodologi Penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti jurnal, buku referensi, Tugas Akhir terdahulu dan artikel di internet. Studi literatur bertujuan untuk membantu dalam memahami dan menganalisa permasalahan pada penelitian ini. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data yaitu data-data struktur FPU, data *mooring*, dan data *flexible riser*. Hal penting lain pada bab ini adalah menjelaskan data lingkungan yang meliputi data gelombang, arus dan angin. Serta menentukan arah pembebanan lingkungan untuk digunakan sebagai input dalam analisis respon gerak FPU.

2. Pemodelan FPU Kondisi *Free Floating* Pada MOSES

Pemodelan struktur FPU dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software* MOSES. FPU dimodelkan berdasarkan data-data yang telah didapatkan sebelumnya. Akan tetapi dari hasil pemodelan tersebut harus divalidasi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk analisis.

3. Validasi Model

Model struktur FPU yang telah dimodelkan diperiksa kesesuaiannya dengan data struktur yang sudah ada di lapangan. Untuk validasi model dilakukan analisis hidrostatis dengan bantuan *software* MOSES.

4. Analisis Hidrodinamik FPU Kondisi *Free Floating*

Setelah validasi model dilakukan dan hasilnya mendekati data lapangan yang sudah ada, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dinamis FPU pada kondisi *free floating* (terapung bebas). Analisis dilakukan dengan bantuan *software* MOSES. Analisis ini dilakukan guna mengetahui *added mass*, *redaman*, *load RAO*, *motion RAO* dan *wave drift force QTF* saat kondisi *free floating*. Analisis dinamis adalah berbasis *frequency domain*.

5. Pemodelan FPU Pada OrcaFlex

Pemodelan dilanjutkan dengan memodelkan struktur apung pada OrcaFlex dengan memasukkan perilaku hidrodinamis dari hasil analisis dinamis MOSES, yang terdiri dari

- Geometri struktur (panjang, lebar, tinggi dan sarat air struktur)
- *Displacement* struktur apung dengan titik beratnya (COG)
- Massa inersia struktur apung dengan radius girasinya
- RAO gerakan struktur apung (*displacement RAO*)
- Gaya gelombang orde-1 sebagai gaya panel (*panel wave frequency load*)
- Matriks 6 x 6 *added mass* dan *damping*
- Kekakuan hidrostatis (kekakuan *heave*, *roll* dan *pitch*)
- Gaya arus, dengan memasukkan luas area penampang struktur apung yang terkena gaya arus (luas area penampang surge, sway dan momen yaw), serta koefisien drag gaya arus

- Gaya angin, dengan memasukkan luas area penampang struktur apung yang terkena gaya angin (luas area penampang surge, sway dan momen yaw), serta koefisien drag gaya angin
- *Quadratic Transfer Function* (QTF) non-dimensional sebagai *transfer function* gaya gelombang orde-2

6. Pemodelan *Spread Mooring* dengan Variasi Jumlah *Line*

Pada tahap ini akan dilakukan pemodelan sistem tambat pada FPU. Sistem tambat yang digunakan adalah tipe *spread mooring*. Pemodelan dilakukan pada tiga variasi jumlah line, yaitu *symetris 45° 8-lines*, *12-lines* dan *16-lines*. *Mooring* dimodelkan sesuai dengan data yang sudah ada. Pemodelan ini dilakukan dengan bantuan *software* OrcaFlex.

7. Analisis Statis Kondisi Tertambat

Analisis statis dilakukan untuk menghitung kondisi *equilibrium* struktur apung tertambat, selain itu digunakan sebagai konfigurasi awal dalam perhitungan analisis dinamis. Analisis statis mempertimbangkan gaya arus, angin dan *mean drift* untuk mendapatkan *initial position* dari struktur apung tertambat.

8. Analisis Dinamis Berbasis *Time Domain Simulation*

Analisis dinamis *mooring system* yang dilakukan pada penelitian ini adalah menentukan nilai *tension* dan *offset* pada FPU. Analisis dilakukan untuk kondisi ULS (*Ultimate Limit State*) dan ALS (*Accidental Limit State*). Kemudian dari nilai tersebut nantinya akan digunakan untuk pengecekan apakah aman atau tidak, sesuai dengan *safety factor* yang mengacu pada API RP 2SK. Analisis ini dilakukan dalam simulasi berbasis *time domain*, yang artinya bahwa analisis akan menghasilkan besaran *tension* yang terjadi pada *mooring line* dalam fungsi waktu. Menurut DNV OS E301 (2004), simulasi *time domain* dilakukan minimal selama 3 jam.

9. Analisis *Tension* pada *Flexible Riser*

Analisis selanjutnya yaitu menentukan *maximum tension* yang terjadi pada *flexible riser* sebagai akibat dari parameter respon struktur, *mooring*

tension dan *offset* pada saat FPU tertambat dengan tiga variasi jumlah *line* yang berbeda.

10. Analisis Dinamis FPU Tertambat Pada Kondisi *Minimum Draft*

Setelah mengetahui kondisi dan arah pembebanan yang mengakibatkan nilai *mooring tension* terbesar, kemudian analisis *time domain simulation* diulang kembali pada arah pembebanan tersebut untuk mengetahui *mooring tension* dan *offset* pada FPU pada kondisi *minimum draft*.

11. Kesimpulan dan Laporan

3.3 PENGUMPULAN DATA

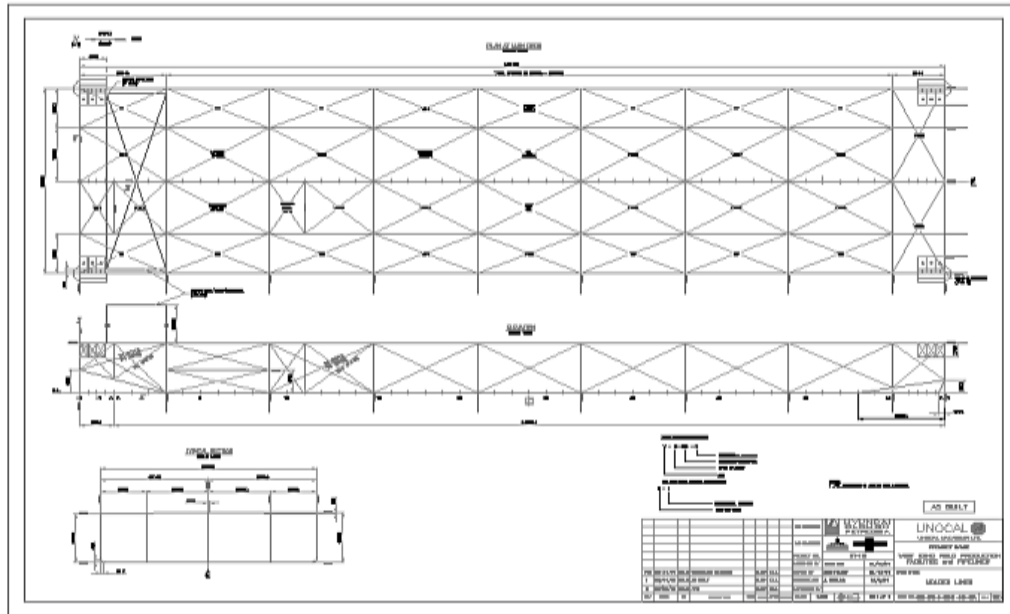
Dalam Tugas Akhir ini data yang digunakan adalah data struktur FPU West Seno, data *mooring*, data *flexible riser* dan data lingkungan. Berikut adalah data-data yang digunakan untuk penelitian.

3.3.1 Data Struktur

Data struktur FPU West Seno yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3.1 *Principal Dimension* dari FPU West Seno
(PT.ZEE Indonesia)

Description	
<i>Name of Vessel</i>	<i>FPU West Seno</i>
<i>Nationality</i>	<i>Indonesia</i>
<i>Class</i>	<i>ABS +A1 Floating Offshore Installation</i>
<i>Type of Ship</i>	<i>Floating Production Unit (FPU) Barge</i>
Description	Data
<i>Length, overall (m)</i>	152,400
<i>Length, between perpendiculars (m)</i>	146,304
<i>Molded Breadth (m)</i>	38,080
<i>Molded Depth (m)</i>	10,050
<i>Min. Operation Draft (m)</i>	5,190
<i>Max. Operation Draft (m)</i>	5,810



Gambar 3-3. *General Arrangement FPU West Seno*
(PT.ZEE Indonesia)

3.3.2 Kombinasi (segmentasi) Tali Tambat

Karena FPU beroperasi di perairan yang dalam (*deep water*), maka sistem tambat yang digunakan adalah model gabungan dari *chain* dan *wire rope*. Sebagai suatu sarat untuk memperbandingkan nilai *mooring tension* yang dihasilkan oleh tiga variasi jumlah sistem tambat, maka berat *mooring line* pada masing-masing skenario harus sama. Data kombinasi (segmentasi) tali tambat pada tiap-tiap skenario adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario I (8-lines)

	<i>Chain</i> (<i>Fairlead</i>)	<i>Wire Rope</i> (<i>Intermediate</i>)	<i>Chain</i> (<i>Ground</i>)	
Panjang	256	1654	308	m
Diameter	70	75	70	mm
Massa	0,107	0,022	0,107	ton/m
Type	Studlink	6 x 19 wire with wire core	Studlink	
Spec	R4	-	ORQ	
MBL	5155	3562	3970	KN

Tabel 3.3 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario II (12-lines)

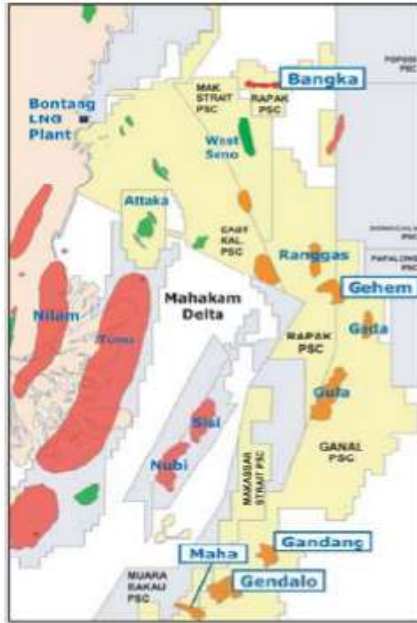
	<i>Chain (Fairlead)</i>	<i>Wire Rope (Intermediate)</i>	<i>Chain (Ground)</i>	
Panjang	256	1654	308	m
Diameter	57	61	57	mm
Massa	0,071	0,015	0,071	ton/m
Type	Studlink	6 x 19 wire with wire core	Studlink	
Spec	R4	-	ORQ	
MBL	3511,051	2356,726	2703,766	KN

Tabel 3.4 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario III (16-lines)

	<i>Chain (Fairlead)</i>	<i>Wire Rope (Intermediate)</i>	<i>Chain (Ground)</i>	
Panjang	256	1654	308	m
Diameter	49	52	49	mm
Massa	0,053	0,011	0,053	ton/m
Type	Studlink	6 x 19 wire with wire core	Studlink	
Spec	R4	-	ORQ	
MBL	2636,759	1712,601	2030,497	KN

3.3.3 Data Lingkungan

Lokasi FPU West Seno beroperasi berada sekitar 17 KM dari *Bangka Field* yang terletak di Rapak PSC Offshore Kalimantan Timur, dengan kedalaman bervariasi antara 700 - 1000 meter.



Gambar 3-4. *Bangka Location Map and Asset Description*
(PT.ZEE Indonesia)

Kedalaman yang diaplikasikan pada analisis ini adalah 850 meter dengan asumsi permukaan *seabed* adalah datar. Data lingkungan yang dipakai adalah data lingkungan dengan periode 100 tahunan, dengan kondisi sebagai berikut :

Tabel 3.5 Data Metocean Periode Ulang 100 Tahun
(PT.ZEE Indonesia)

<i>Return Period</i>	100-yr
<i>Significant Wave Height (m)</i>	3,2
<i>Peak Spectral Period (s)</i>	8,3
<i>Maximum Wave Height (m)</i>	5,6
<i>Period Associated with (s)</i>	7,9
<i>Spectrum Type</i>	JONSWAP
<i>Peak Enhancement Factor</i>	2,5
<i>Wind Speed (m/s)</i>	21,2
<i>Surface Current Speed (m/s)</i>	1,31

3.3.4 Data Riser

Data *flexible riser* yang terdapat pada struktur FPU West Seno dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3.6 Data Properties *Flexible Riser*
(PT.ZEE Indonesia)

Description	Value
<i>Flexible ID (mm)</i>	250
<i>Flexible OD (mm)</i>	350
<i>Internal Volume (l/m)</i>	49,07
<i>External Volume (l/m)</i>	95,68
<i>Weight in Air (te/m)</i>	0,181
<i>Weight in Water (te/m)</i>	0,083
<i>Bending Stiffness (kN.m²)</i>	117,188
<i>Axial Stiffness (kN)</i>	700000
<i>Torsional Stiffness (kN.m²)</i>	80
<i>Minimum Bending Radius for storage (m)</i>	3,675
<i>Total Length (m)</i>	1650,84

Tabel 3.7 Data Properties *Floater*
(PT.ZEE Indonesia)

Description	Value
<i>Float OD (mm)</i>	1200
<i>Length (mm)</i>	1000
<i>Material Density (te/m³)</i>	0,400
<i>Volume (m³)</i>	1,035
<i>Mass (te)</i>	0,439
<i>Displacement (te)</i>	1,061

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

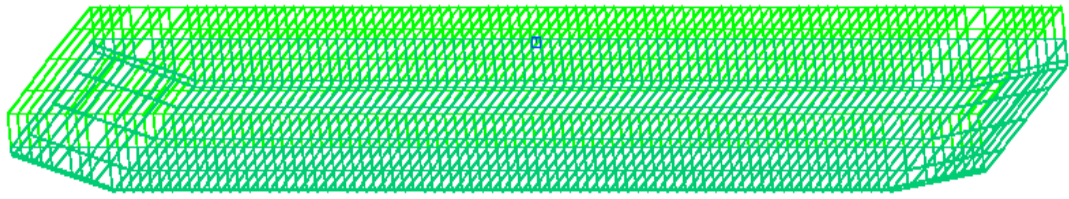
ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PEMODELAN STRUKTUR FPU PADA MOSES

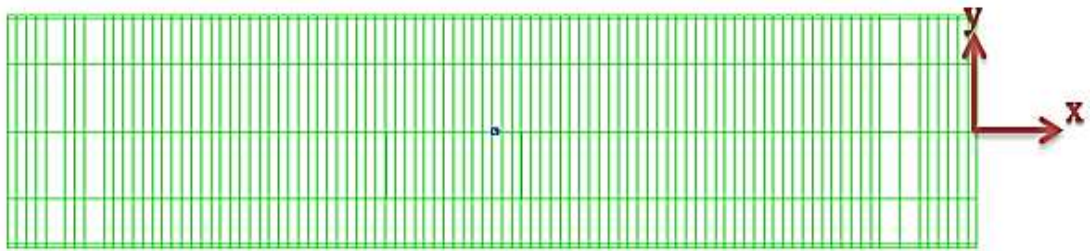
Pemodelan struktur FPU *free floating* yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini menggunakan bantuan *software* MOSES, dengan berdasarkan pada data yang telah didapatkan yaitu *principal dimension* dan *General Arrangement (GA)* yang telah dipaparkan dalam BAB III sebelumnya. Pemodelan yang dilakukan berupa *hull* FPU beserta tanki-tanki yang terdapat didalamnya (*compartment*).

Pada kenyataannya, struktur FPU West Seno memiliki beberapa skenario *load case* yang terdapat pada *stability booklet*, yaitu kondisi *lightship*, *maximum draft*, *minimum draft* dan *summer draft*. Namun yang digunakan pada analisis kali ini yaitu skenario FPU pada saat *maximum draft*, yaitu dimana sarat air (T)=5,19 m dan pada saat *minimum draft*, dimana sarat air (T)=5,81 m.

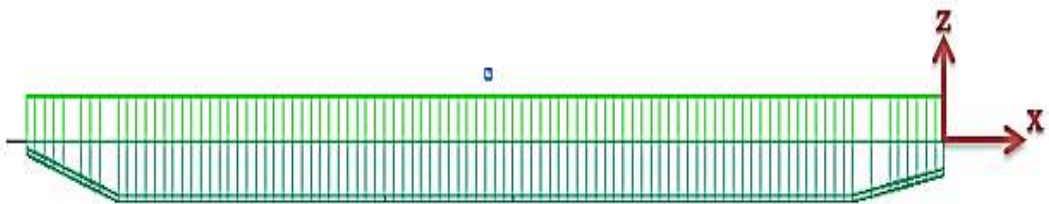
Pemodelan FPU West Seno dilakukan secara bersamaan antara bagian *hull* dan bagian *compartment*-nya. Analisis yang dilakukan pada FPU West Seno menggunakan metode *panel theory* atau biasa disebut *3D diffraction method*. Metode ini lebih detail dan lebih akurat bila dibandingkan dengan *strip theory (2D)* dalam menganalisis medan aliran fluida pada struktur. Sistem koordinat yang digunakan dalam pemodelan adalah koordinat kartesian MOSES yang memiliki arah berlawanan pada sumbu y jika dibandingkan dengan koordinat kartesian pada umumnya. Hasil pemodelan *hull* FPU pada MOSES ditunjukkan pada **Gambar 4-1**.



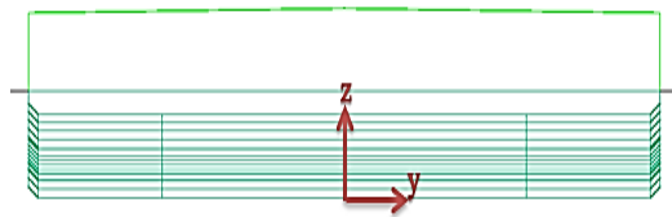
(a)



(b)



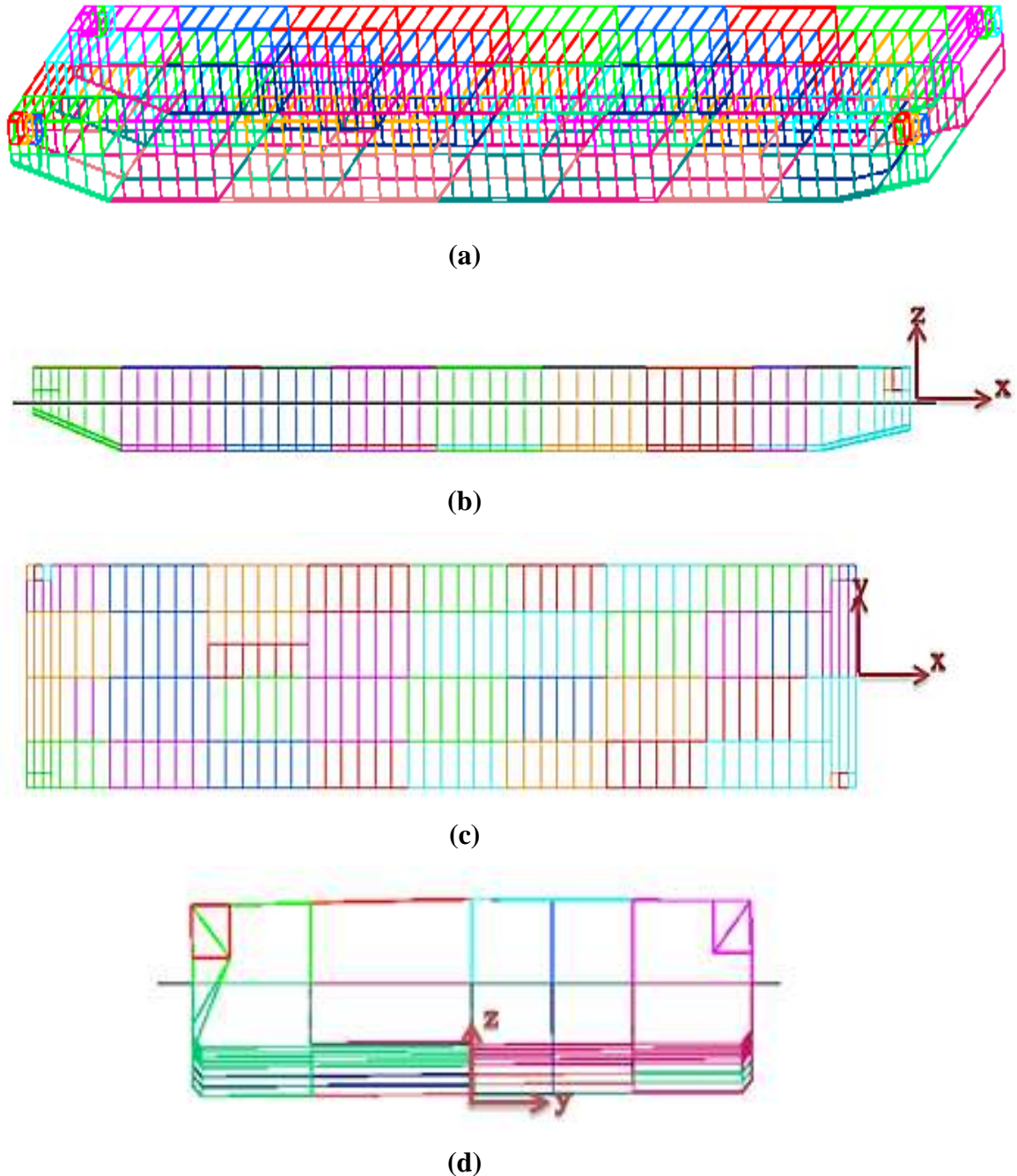
(c)



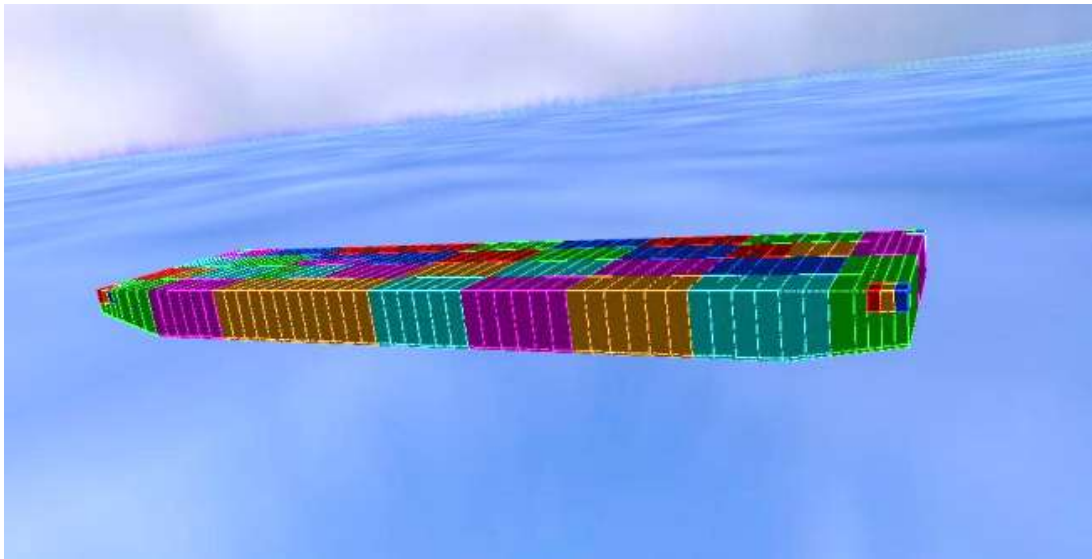
(d)

Gambar 4-1. Pemodelan *Surface Model* FPU West Seno Pada MOSES :
Tampak Isometri (a) , Tampak Atas (b), Tampak Samping (c), Tampak
Depan (d)

Selain ditinjau dari sisi *hull*, analisis mengenai *compartment* FPU juga perlu dilakukan, maka dimodelkan pula *compartment* pada FPU dengan berdasarkan dimensi serta berat muatan yang telah ditentukan. Berikut ini hasil pemodelan *compartment* pada FPU yang telah dilakukan di MOSES.



Gambar 4-2. Pemodelan *Compartment* FPU West Seno Pada MOSES :
Tampak Isometri (a) , Tampak Samping (b), Tampak Atas (c), Tampak Depan (d)



Gambar 4-3 3D Model FPU West Seno Pada MOSES Tampak Isometri

Model yang sudah terbentuk oleh software MOSES harus dilakukan validasi terlebih dahulu terhadap data-data hidrostatik yang terdapat pada *stability booklet*. Hal ini dimaksudkan untuk meninjau keakuratan model FPU sehingga dapat diketahui kelayakan modelnya untuk digunakan pada analisis-analisis selanjutnya. Pada **Tabel 4.1** adalah properti hidrostatik yang dimiliki oleh FPU West Seno untuk dilakukan validasi terhadap struktur yang telah dimodelkan.

Tabel 4.1A Properti Hidrostatik FPU West Seno

Draft (m)	Displacement (M-Tonnes)	WPA (m ²)	KMT (m)	KML (m)	LCF from AP (m)	LCB from AP (m)	KB (m)	TPC (T/cm)
5,50	30546,00	5808,8	26,443	380,1	76,199	74,822	2,844	59,54
5,52	30665,00	5808,8	26,36	378,64	76,199	74,827	2,854	59,54
5,54	30784,00	5808,8	26,278	377,2	76,199	74,833	2,863	59,54
5,56	30904,00	5808,8	26,197	375,77	76,2	74,838	2,871	59,54
5,58	31023,00	5808,9	26,117	374,35	76,2	74,843	2,88	59,54
5,60	31142,00	5808,9	26,037	372,94	76,2	74,848	2,889	59,54
5,62	31261,00	5808,9	25,959	371,54	76,2	74,854	2,899	59,54
5,64	31380,00	5808,9	25,883	370,15	76,2	74,859	2,911	59,54
5,66	31499,00	5808,9	25,808	368,78	76,2	74,864	2,923	59,54
5,68	31618,00	5808,9	25,733	367,41	76,2	74,869	2,934	59,54
5,70	31737,00	5808,9	25,659	366,05	76,2	74,874	2,946	59,54

Tabel 4.1B Properti Hidrostatik FPU West Seno (lanjutan)

Draft (m)	Displacement (M-Tonnes)	WPA (m ²)	KMT (m)	KML (m)	LCF from AP (m)	LCB from AP (m)	KB (m)	TPC (T/cm)
5,72	31856,00	5808,9	25,586	364,71	76,2	74,879	2,957	59,54
5,74	31975,00	5808,9	25,513	363,37	76,2	74,884	2,969	59,54
5,76	32094,00	5808,9	25,44	362,05	76,2	74,889	2,98	59,54
5,78	32213,00	5808,9	25,369	360,73	76,2	74,893	2,991	59,54
5,80	32333,00	5808,9	25,297	359,42	76,2	74,898	3,002	59,54
5,82	32452,00	5808,9	25,226	358,13	76,2	74,903	3,013	59,54
5,84	32571,00	5808,9	25,156	356,84	76,2	74,908	3,024	59,54
5,86	32690,00	5808,9	25,086	355,56	76,2	74,912	3,035	59,54
5,88	32809,00	5808,9	25,017	354,29	76,2	74,917	3,046	59,54
5,90	32928,00	5808,9	24,948	353,03	76,2	74,922	3,056	59,54
5,92	33047,00	5808,9	24,88	351,78	76,2	74,926	3,067	59,54
5,94	33166,00	5808,9	24,812	350,54	76,2	74,931	3,077	59,54
5,96	33285,00	5808,9	24,745	349,31	76,2	74,935	3,088	59,54
5,98	33404,00	5808,9	24,678	348,08	76,2	74,94	3,098	59,54
6,00	33523,00	5808,9	24,612	346,87	76,2	74,944	3,109	59,54

Kriteria validasi model yang digunakan mengacu pada IASC, 2013 (Lihat **Tabel 4.2**) dengan *error* pada *displacement* bernilai maksimum sebesar 2% dan untuk parameter seperti *water plane area*, *keel to metacenter transversal*, *keel to metacenter longitudinal*, *bouyancy to metacenter tranversal* dan *bouyancy to metacenter longitudinal* bernilai maksimum sebesar 1%.

Tabel 4.2 Kriteria validasi model (IASC, 2013)

<i>Hull Form Dependent</i>	
<i>Displacement</i>	2%
<i>Longitudinal center of bouyancy, from AP</i>	1 % / 50 cm max
<i>Vertical center of bouyancy</i>	1 % / 5 cm max
<i>Transverse center of bouyancy</i>	0,5% of B / 5 cm max
<i>Longitudinal center of flotation, from AP</i>	1% / 50 cm max
<i>Moment to trim 1 cm</i>	2%
<i>Transverse metacentric height</i>	1 % / 5 cm max
<i>Longitudinal metacentric height</i>	1 % / 50 cm max
<i>Cross curve of stability</i>	5 cm

Berikut merupakan hasil validasi pemodelan antara model MOSES dengan data pada *stability booklet* pada saat $T = 5,80$ m.

Tabel 4.3 Hasil validasi model FPU

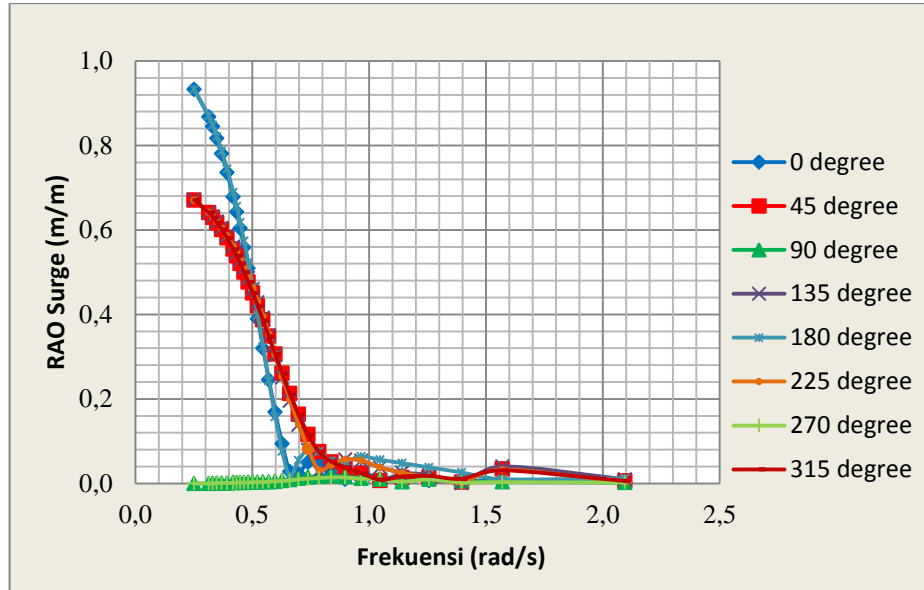
Data	Unit	MOSES	DATA	koreksi	kondisi
Displacement	M-Tonnes	32315,62	32333	0,05%	memenuhi
Waterplane Area	M	5803,40	5808,9	0,09%	memenuhi
KMT	M	25,25	25,297	0,19%	memenuhi
KML	M	359,19	359,42	0,06%	memenuhi
LCF from AP	M	76,20	76,20	0,00%	memenuhi
LCB from AP	M	74,89	74,898	0,01%	memenuhi
KB	M	3,01	3,002	-0,27%	memenuhi
Immersion (TPC)	T/CM	59,50	59,54	0,07%	memenuhi

Kriteria berdasarkan error yang terdapat pada **Tabel 4.3** yang memiliki nilai dibawah kriteria validasi yang disebutkan IASC, maka dapat diambil kesimpulan bahwa model MOSES tersebut memenuhi dan layak untuk digunakan dalam analisa-analisa selanjutnya.

4.2 ANALISIS KARAKTERISTIK GERAKAN STRUKTUR FPU PADA GELOMBANG REGULAR

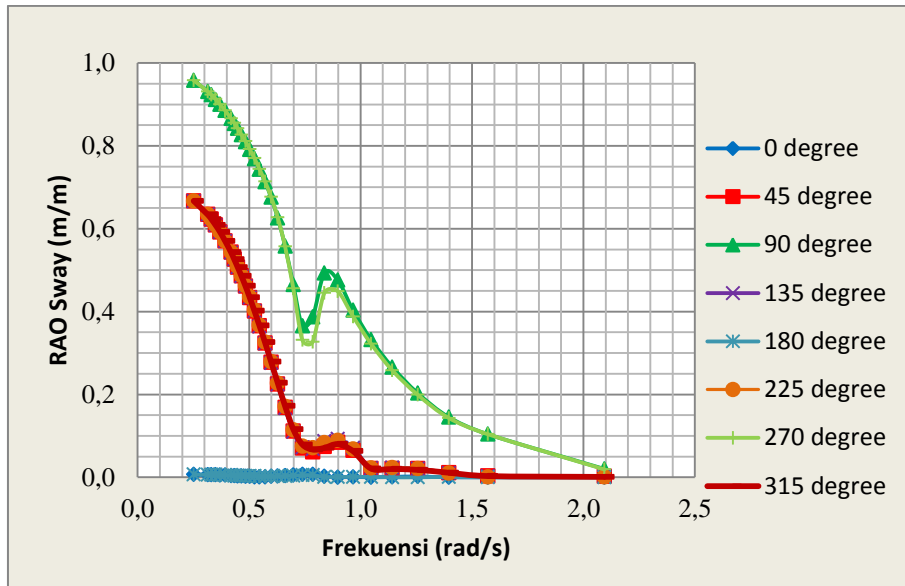
Karakteristik gerakan struktur yang ditinjau pada bagian ini merupakan gerakan struktur FPU saat terapung bebas (*free floating*) pada gelombang reguler. Analisis ini akan menghasilkan karakteristik gerakan yang dimanifestasikan dalam bentuk *Response Amplitude Operator* (RAO). RAO tersebut dijabarkan dalam gerakan enam derajat kebebasan (*six degree of freedom*) surge, sway, heave, roll, pitch dan yaw. Grafik fungsi transfer/RAO akan disajikan dengan absis (sumbu-x) berupa *wave frequency* (rad/s) dan sumbu-y berupa besar RAO (m/m, untuk gerakan translasional dan deg/m, untuk gerakan rotasional). Grafik yang ditampilkan akan menunjukkan karakteristik gerakan untuk setiap arah pembebanannya. Berikut adalah hasil analisis perilaku gerak FPU pada gelombang reguler untuk kondisi terapung bebas (*free floating*).

4.2.1. Analisis RAO FPU Kondisi *Maximum Draft* ($T = 5,81 \text{ m}$)



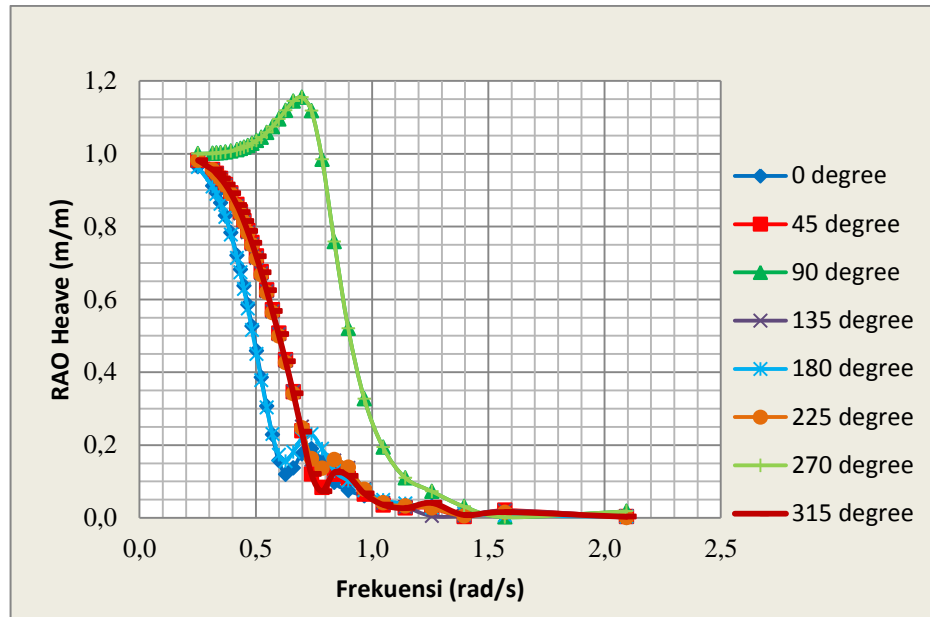
Gambar 4-4. RAO gerakan *surge* FPU kondisi *free floating* (*maximum draft*)

Gerakan *surge* merupakan salah satu pola gerakan transversal pada arah sumbu x. Seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4-4** bahwa karakteristik gerakan *surge* didominasi oleh gelombang buritan (arah 0°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.933 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.2513 rad/s . Kemudian gelombang haluan (arah 180°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.933 m/m yang terjadi pada frekuensi yang sama 0.2513 rad/s . Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *surge* terbesar (resonansi utama) terjadi pada frekuensi rendah. Gerakan *surge* pada arah pembebanan 0° dan 180° memiliki RAO yang hampir sama karena bentuk geometri dari FPU yang simetris dan hanya sedikit mengalami perubahan antara depan dan belakang. Kemudian diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.671 m/m dan 0.672 m/m yang keduanya terjadi pada frekuensi yang sama 0.2513 rad/s . Sedangkan gelombang sisi (arah 90°) memberikan efek yang paling kecil dengan RAO tertinggi sebesar 0.018 m/m pada frekuensi 0.2513 rad/s , hal ini dikarenakan arah datang gelombang arah 90° tegak lurus dengan gerakan *surge*.



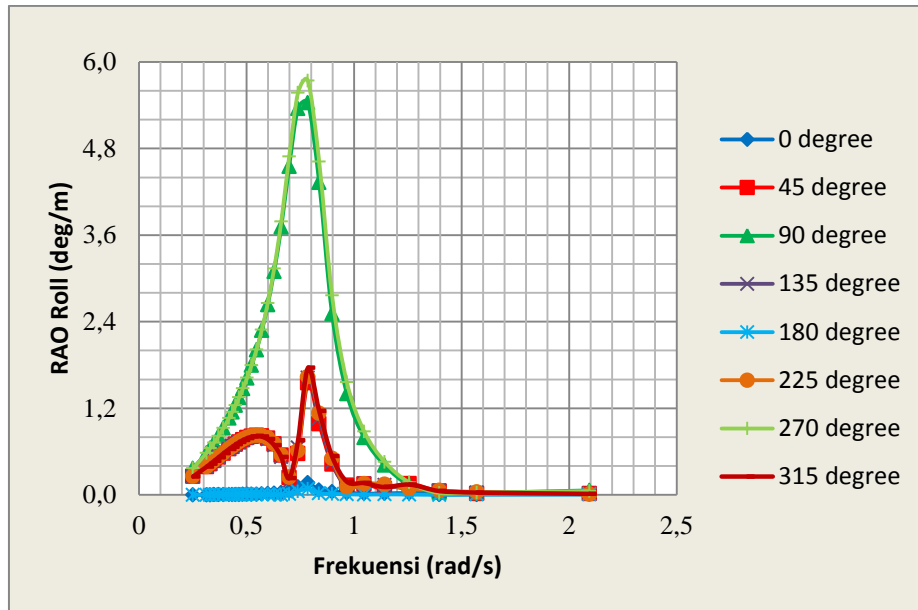
Gambar 4-5. RAO gerakan sway FPU kondisi *free floating* (maximum draft)

Gerakan *sway* secara teoritis tidak akan terjadi pada gelombang buritan ataupun haluan, seperti pada **Gambar 4-5**, arah 0° dan arah 180° memiliki kurva yang menempel di sumbu-x kurva dan memiliki nilai RAO yang sangat kecil 0,007 m/m. RAO gerakan *sway* tertinggi terjadi pada gelombang sisi (arah 90°) yakni sebesar 0.958 m/m. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang keduanya memiliki nilai RAO yang sama sebesar 0.667 m/m. Semua nilai tertinggi RAO dari masing-masing arah datang gelombang terjadi pada frekuensi 0.2513 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) hanya sedikit memberikan efek terhadap perilaku gerakan *sway* karena arahnya tegak lurus dengan gerakan *sway*.



Gambar 4-6. RAO gerakan *heave* FPU kondisi *free floating* (*maximum draft*)

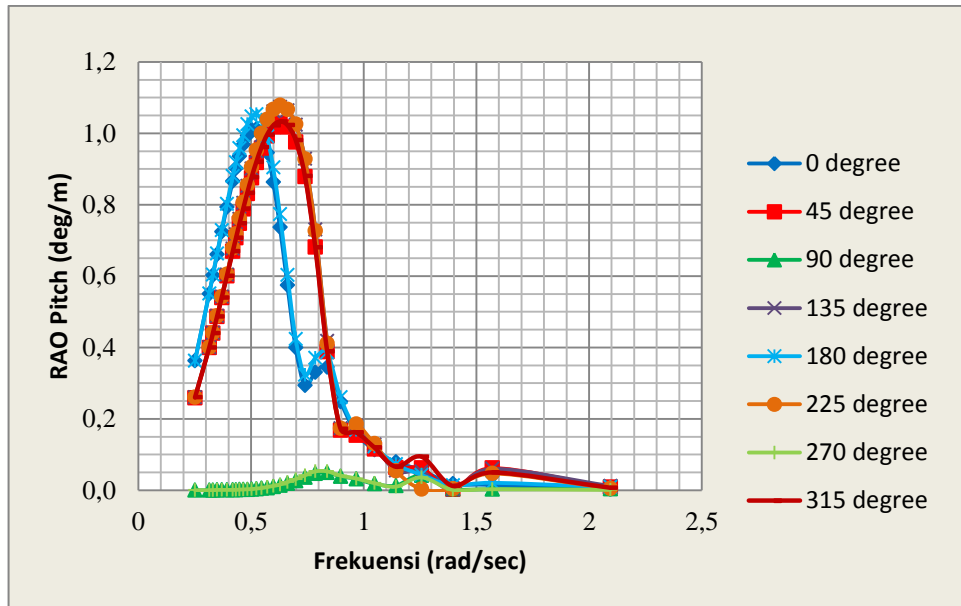
Gerakan *heave* merupakan pola gerakan transversal pada arah sumbu z. Seperti pada **Gambar 4-6** bahwa pada frekuensi rendah nilai RAO berada disekitar 1 m/m. Kemudian grafik secara bertahap naik sampai mencapai puncak (resonansi) dan menurun lagi sampai mendekati 0. RAO gerakan *heave* memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 1.155 m/m, yang terjadi pada frekuensi 0.6981 rad/s. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) sebesar 0.982 m/m. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) memberikan efek yang paling kecil sebesar 0.964 m/m dan terjadi pada frekuensi 0.2513 rad/s. Dapat disimpulkan bahwa pada gelombang sisi (arah 90°) terjadi resonansi yang menyebabkan puncak gelombang. Resonansi yang terjadi pada arah 90° tidak berada pada frekuensi yang sama dengan arah datang gelombang lainnya yaitu 0.2513 rad/s, namun puncaknya terjadi pada frekuensi 0.6981 rad/s. Hal ini memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai acuan untuk menempatkan atau menambatkan FPU supaya tidak terkena gelombang sisi yang dominan.



Gambar 4-7. RAO gerakan *roll* FPU kondisi *free floating* (*maximum draft*)

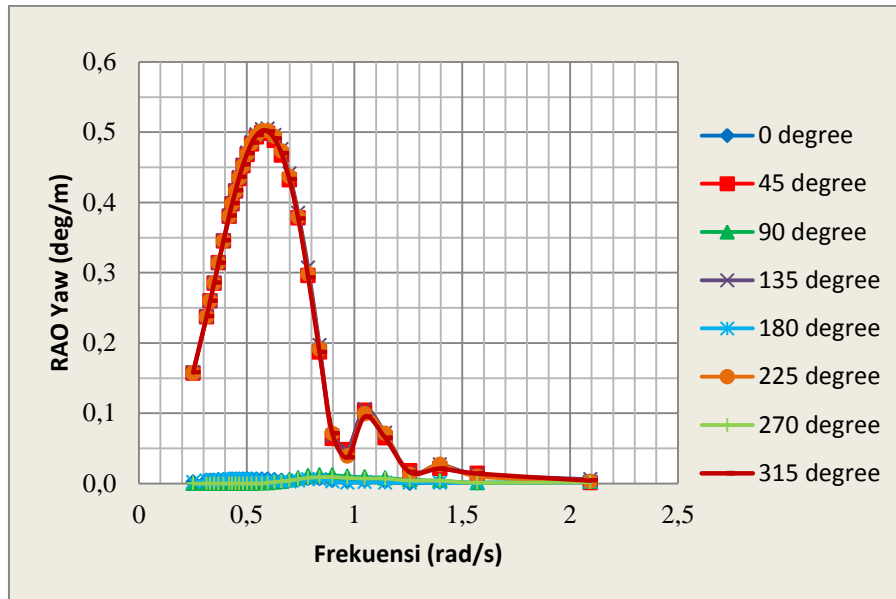
Pada **Gambar 4-7** dapat dilihat bahwa pada daerah subkritis (frekuensi rendah), perilaku gerak *roll* merepresentasikan nilai yang kecil, kemudian naik tajam pada daerah resonansi, dan menurun secara signifikan pada daerah super kritis (frekuensi tinggi). Karakteristik gerakan *roll* akan didominasi oleh gelombang sisi (arah 90° dan 270°), kemudian gelombang perempat (arah 45° dan 135°). Sedangkan gelombang haluan dan buritan (arah 180° dan 0°) memberikan efek yang paling kecil, seperti pada **Gambar 4-7** dapat dilihat bahwa nilai RAOnya berada disekitar 0 deg/m.

RAO gerakan *roll* memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 270° dan 90°) sebesar 5.74 deg/m dan 5.435 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.7854 rad/s. Diikuti oleh RAO dari gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang memiliki nilai tertinggi yaitu 1.552 deg/m dan 1.622 deg/m.



Gambar 4-8. RAO gerakan *pitch* FPU kondisi *free floating* (*maximum draft*)

Pada **Gambar 4-8** dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *pitch* didominasi oleh gelombang arah 135° dan 225° yang diikuti oleh arah 0° dan 180° yang hampir berhimpit. Kemudian gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil. RAO gerakan *pitch* memiliki kenaikan tajam pada arah datang gelombang 135° dan 225° sebesar 1.074 deg/m dan 1.078 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s . Kemudian selanjutnya RAO dari arah 45° dengan nilai RAO yang lebih kecil yaitu 1.027 deg/m terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s . Kemudian gelombang haluan (180°) dengan nilai RAO tertinggi sebesar 1.053 deg/m , diikuti oleh arah datang gelombang buritan (0°) sebesar 1.012 deg/m , dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0.5236 rad/s . Dan arah gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil yakni sebesar 0.05 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.8378 rad/s .

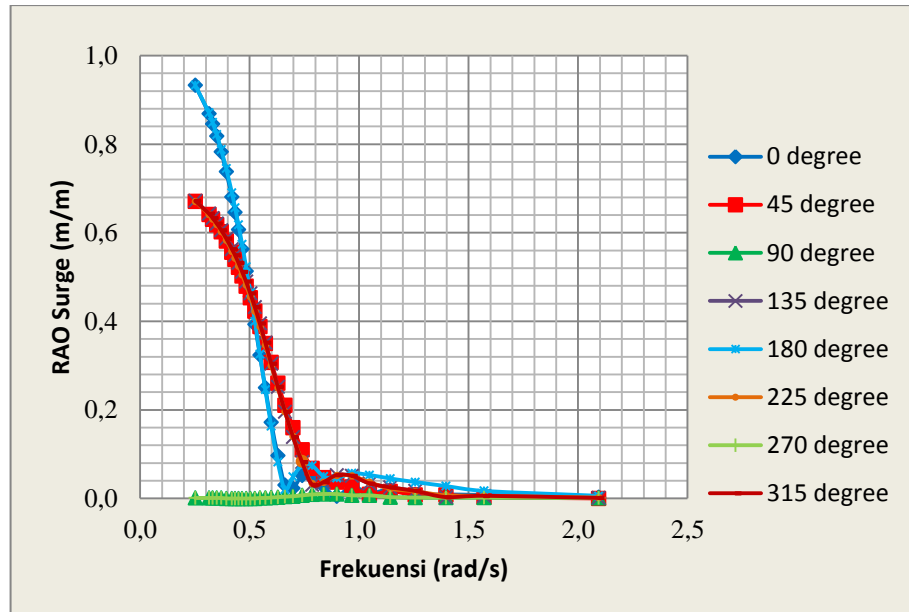


Gambar 4-9. RAO gerakan yaw FPU kondisi *free floating* (*maximum draft*)

Untuk RAO gerakan *yaw* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4-9** memiliki kenaikan pada gelombang perempat haluan (arah 135°) dengan nilai RAO tertinggi sebesar 0.505 deg/m dan gelombang perempat buritan (arah 45°) sebesar 0.499 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0,5712 rad/s. Diikuti oleh RAO dari arah datang gelombang sisi (arah 90°) sebesar 0.012 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.8378 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) memiliki sedikit pengaruh terhadap gerakan *yaw* FPU karena memiliki nilai RAO 0.012 deg/m pada frekuensi 0.8378 rad/s.

Dari keseluruhan pembahasan RAO FPU muatan penuh (*maximum draft*) pada kondisi terapung bebas (*free floating*) yang ditunjukkan oleh **Gambar 4-4 – Gambar 4-9**, maka dapat disimpulkan bahwa FPU mengalami gerakan yang signifikan yakni pada gerak *heave*, *roll* dan *pitch*. Dimana ketiganya merupakan mode gerakan vertikal bangunan apung.

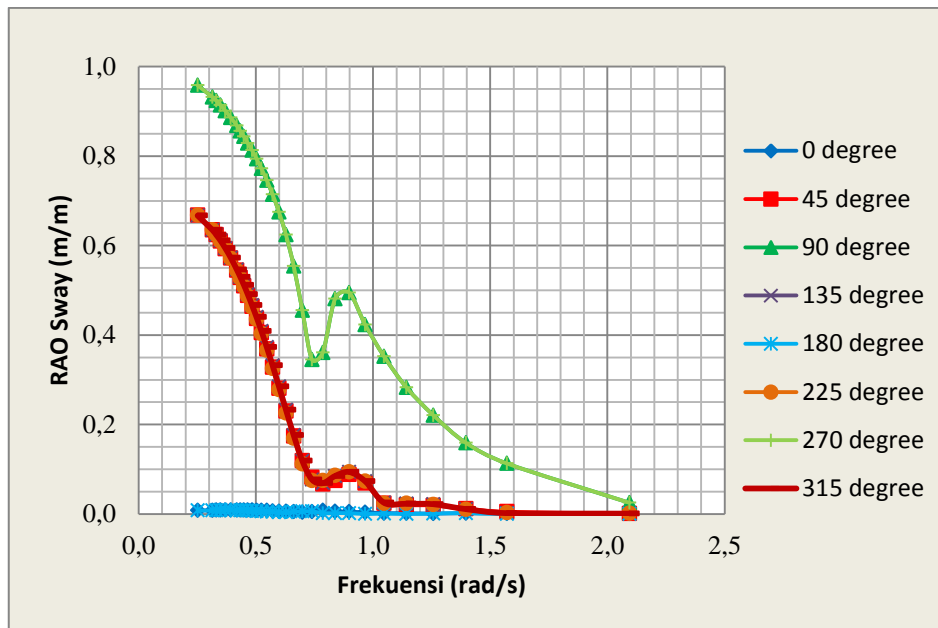
4.2.2. Analisis RAO FPU Kondisi *Minimum Draft* ($T = 5,19 \text{ m}$)



Gambar 4-10. RAO gerakan *surge* FPU kondisi *free floating* (*minimum draft*)

Seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4-10** bahwa karakteristik gerakan *surge* kondisi FPU *minimum draft* didominasi oleh gelombang buritan (arah 0°) dan haluan (arah 180°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.933 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.2513 rad/s. Kemudian diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.671 m/m dan 0.672 m/m yang keduanya terjadi pada frekuensi yang sama 0.2513 rad/s. Sedangkan gelombang sisi (arah 90°) memberikan efek yang paling kecil dengan RAO tertinggi sebesar 0.010 m/m pada frekuensi 0.2513 rad/s.

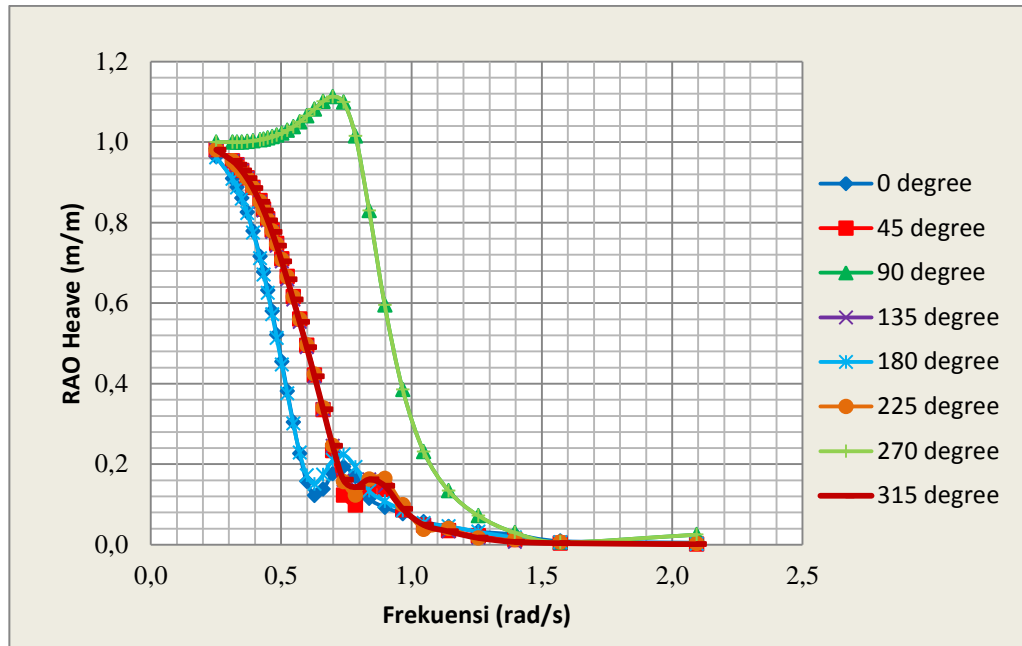
Perbandingan karakteristik RAO gerakan *surge* pada kondisi *maximum draft* dengan kondisi *minimum draft* memiliki perbedaan pada gelombang arah sisi (arah 90°) sekitar 44% lebih besar saat kondisi *maximum draft*.



Gambar 4-11. RAO gerakan sway FPU kondisi *free floating* (*minimum draft*)

Pada **Gambar 4-11**, RAO gerakan sway pada kondisi *minimum draft* tertinggi terjadi pada gelombang sisi (arah 90°) yakni sebesar 0.958 m/m. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang memiliki nilai RAO sebesar 0.668 m/m dan 0.667 m/m. Semua nilai tertinggi RAO dari masing-masing arah datang gelombang terjadi pada frekuensi 0.2513 rad/s. Sedangkan propagasi akibat gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) hanya sedikit memberikan efek terhadap perilaku gerakan sway dengan RAO 0.009 m/m karena arahnya tegak lurus dengan gerakan sway.

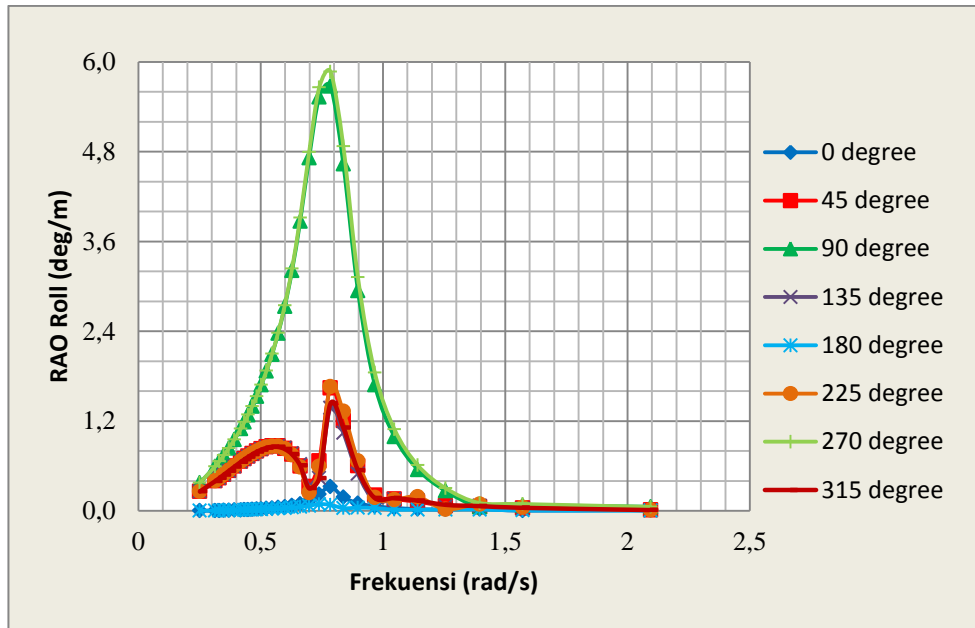
Perbandingan karakteristik RAO gerakan sway pada kondisi *maximum draft* dengan kondisi *minimum draft* memiliki perbedaan pada gelombang arah 0° sekitar 22% dan arah 45° sekitar 0.15% lebih besar saat kondisi *minimum draft*.



Gambar 4-12. RAO gerakan *heave* FPU kondisi *free floating* (*minimum draft*)

Pada **Gambar 4-12** RAO gerakan *heave* terbesarnya pada kondisi *minimum draft* yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 1.113 m/m, yang terjadi pada frekuensi 0.6981 rad/s. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) sebesar 0.981 m/m. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) memberikan efek yang paling kecil sebesar 0.963 m/m dan terjadi pada frekuensi 0.2513 rad/s.

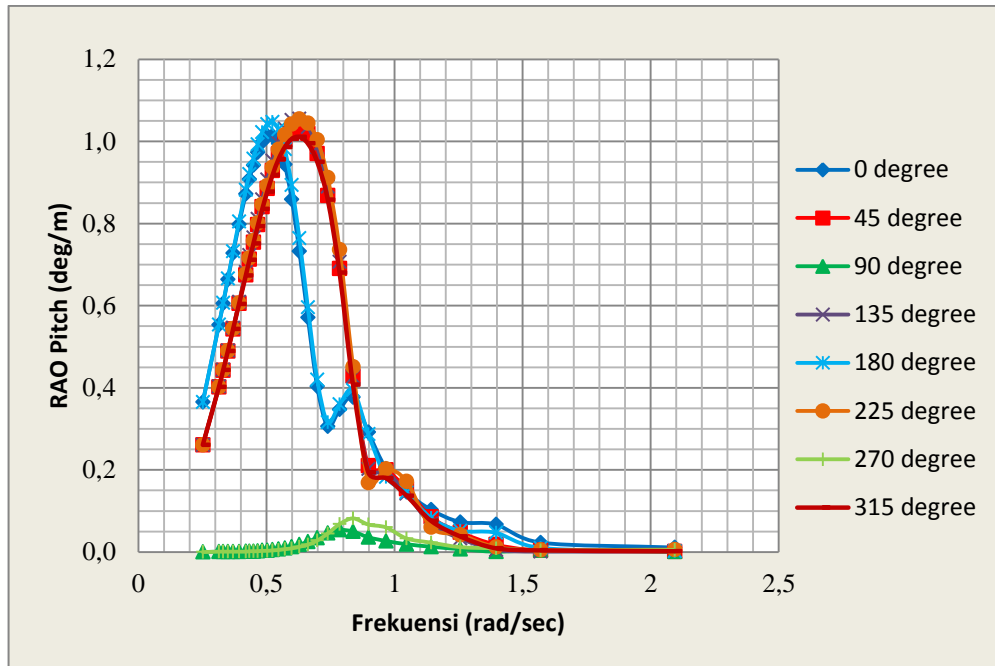
Perbandingan karakteristik RAO gerakan *heave* pada kondisi *maximum draft* dengan kondisi *minimum draft* pada arah datang gelombang 90° memiliki perbedaan sekitar 3.6% lebih besar saat kondisi *maximum draft*.



Gambar 4-13. RAO gerakan *roll* FPU kondisi *free floating* (*minimum draft*)

Pada **Gambar 4-13** dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *roll* pada saat *minimum draft* didominasi oleh gelombang sisi (arah 90° dan 270°) sebesar 5.679 deg/m dan 5.870 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.7854 rad/s, kemudian gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang memiliki nilai tertinggi yaitu 1.644 deg/m dan 1.379 deg/m. Sedangkan gelombang haluan dan buritan (arah 180° dan 0°) nilai RAOnya 0.326 deg/m.

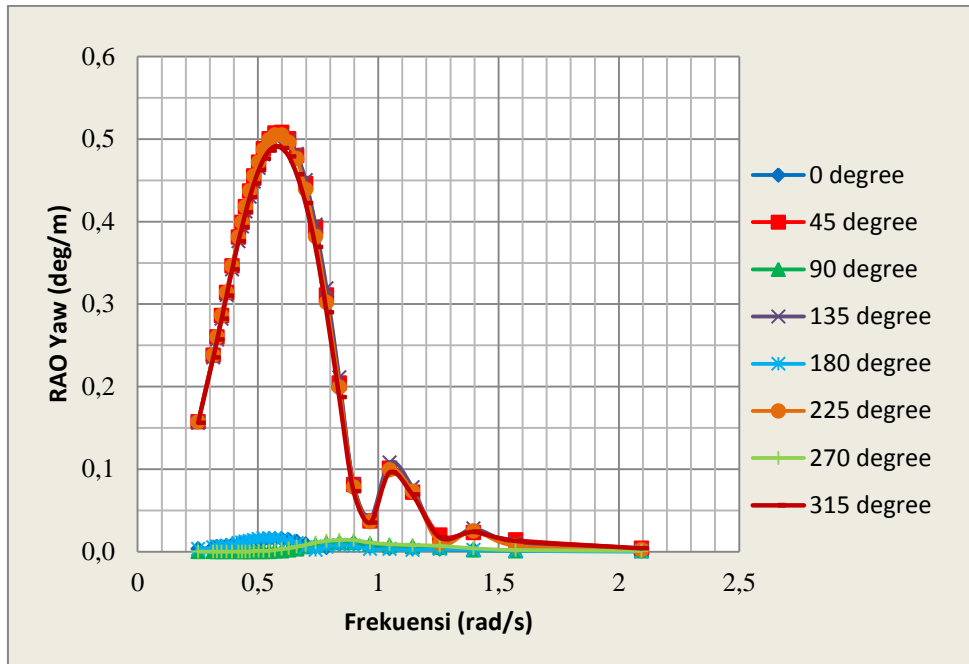
Perbandingan karakteristik RAO gerakan *roll* pada kondisi *maximum draft* dengan kondisi *minimum draft* arah 90° memiliki perbedaan sekitar 4.3 % lebih besar saat kondisi *minimum draft*.



Gambar 4-14. RAO gerakan *pitch* FPU kondisi *free floating* (*minimum draft*)

Pada **Gambar 4-14** dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *pitch* pada saat *minimum draft* didominasi oleh gelombang arah 135° dan 225° sebesar 1.055 deg/m dan 1.054 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s selanjutnya RAO dari arah 45° dengan nilai RAO yang lebih kecil yaitu 1.034 deg/m terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s , dan diikuti oleh arah 0° dan 180° dengan nilai RAO tertinggi sebesar 1.047 deg/m dan 1.014 deg/m pada frekuensi 0.5236 rad/s . Kemudian gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil yakni sebesar 0.054 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.8378 rad/s .

Perbandingan karakteristik RAO gerakan *pitch* pada kondisi *maximum draft* dengan kondisi *minimum draft* arah 0° , 45° dan 90° memiliki perbedaan berturut-turut yaitu 0.19% , 0.68% dan 7.41% lebih besar saat kondisi *minimum draft*. Sedangkan untuk arah 135° dan 225° memiliki perbedaan berturut-turut 1.77% dan 2.23% lebih besar saat *maximum draft*.



Gambar 4-15. RAO gerakan yaw FPU kondisi *free floating* (*minimum draft*)

Untuk RAO gerakan yaw pada kondisi *minimum draft* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4-15** memiliki kenaikan pada gelombang perempat buritan (arah 45°) sebesar 0.506 deg/m dan gelombang perempat haluan (arah 135°) dengan nilai RAO tertinggi sebesar 0.504 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0,5984 rad/s. Diikuti oleh RAO dari arah datang gelombang sisi (arah 90°) sebesar 0.014 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.8378 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) memiliki sedikit pengaruh terhadap gerakan yaw FPU karena memiliki nilai RAO 0.015 deg/m dan 0.016 deg/m pada frekuensi 0.5712 rad/s.

Perbandingan karakteristik RAO gerakan yaw pada kondisi *maximum draft* dengan kondisi *minimum draft* arah 45° dan 90° memiliki perbedaan berturut-turut yaitu 1.38% dan 14.28% lebih besar saat kondisi *minimum draft*.

4.3 PEMODELAN STRUKTUR FPU PADA ORCAFLEX

Pemodelan FPU pada *software OrcaFlex* dilakukan dengan memasukkan perilaku hidrodinamis dari hasil analisis dinamis MOSES dan parameter-parameter, yang terdiri dari

- Geometri struktur (panjang, lebar, tinggi dan sarat air struktur)

Tabel 4.4 Geometri Struktur FPU

Description	Data
<i>Length, overall (m)</i>	152,400
<i>Length, between perpendiculars (m)</i>	146,304
<i>Molded Breadth (m)</i>	38,080
<i>Molded Depth (m)</i>	10,050
<i>Min. Operation Draft (m)</i>	5,190
<i>Max. Operation Draft (m)</i>	5,810

- *Displacement* struktur apung dengan titik beratnya (COG)
Center of gravity struktur apung secara keseluruhan dipengaruhi oleh massa komponen-komponen yang menyusunnya.

Tabel 4.5 *Displacement* dan COG FPU

	Displacement (MT)	COG (m)		
		X	Y	Z
<i>Maximum Draft</i>	32390,2	74,89	0,13	6,67
<i>Minimum Draft</i>	28701,33	74,71	0,15	6,05

- Massa inersia struktur apung dengan radius girasinya
Perhitungan momen inersia yaitu massa dikalikan dengan radius girasi pada sumbu x, y dan z. Dalam penelitian ini perhitungan radius girasi dilakukan dengan pendekatan standard *Bureau Veritas*, yaitu sebagai berikut :

- Radius Girasi Roll

$$K_{xx} = 0,289 \times B \times \left(1,0 + \left(\frac{2 \text{ KG}}{B} \right)^2 \right) \quad (4.1)$$

- Radius Girasi Pitch = Radius Girasi Yaw

$$K_{yy} = K_{zz} = \sqrt{\frac{1}{12}} L \quad (4.2)$$

dengan,

B = lebar kapal (meter)

KG = jarak *keel to gravity* (meter)

L = *length of waterline* (meter)

Tabel 4.6 Radius Girasi FPU

	Radius Girasi		
	Kxx	Kyy	Kzz
<i>Maximum Draft</i>	13,349	43,99	43,99
<i>Minimum Draft</i>	13,229	43,99	43,99

Tabel 4.7 Momen Inersia FPU

	Momen Inersia (te·m ²)		
	X	Y	Z
<i>Maximum Draft</i>	5,77E+06	6,27E+07	6,27E+07
<i>Minimum Draft</i>	5,02E+06	5,56E+07	5,56E+07

- RAO gerakan struktur apung (*displacement RAO*) yang didapatkan dari hasil analisis pada MOSES
- Gaya gelombang orde-1 sebagai gaya panel (*panel wave frequency load*) dari *output* MOSES
- Matriks 6 x 6 *added mass* dan *damping*
- Kekakuan hidrostatik (kekakuan *heave*, *roll* dan *pitch*)

- Kekakuan Gerakan *Heave*

$$K_{33} = \rho \cdot g \cdot A_w \quad (4.3)$$

- Kekakuan Gerakan *Roll*

$$K_{44} = \rho \cdot g \cdot \nabla \cdot GM_T \quad (4.4)$$

- Kekakuan Gerakan *Pitch*

$$K_{55} = \rho \cdot g \cdot \nabla \cdot GM_L \quad (4.5)$$

- Kekakuan Gerakan *Heave-Pitch*

$$K_{35} = \rho \cdot g \cdot A_w \cdot (LCF - LCB) \quad (4.6)$$

dengan,

ρ = massa jenis air laut (1.025 ton/m³)

g = percepatan gravitasi (9.81 m/det²)

A_w = luas garis air (m²)

∇ = *volume displacemement* bangunan apung (m³)

GM_T = tinggi metacenter melintang (m)

GM_L = tinggi metacenter memanjang (m)

Tabel 4.8 Kekakuan Hidrostatik

<i>Maximum Draft</i>			
Heave	Roll	Pitch	
58409,94	0	76049,744	Heave
0	5242253,949	0	Roll
76049,74	0	110776846	Pitch
<i>Minimum Draft</i>			
Heave	Roll	Pitch	
58350,62	0	85775,405	Heave
0	5915576,594	0	Roll
85775,41	0	111340105	Pitch

- Gaya arus, dengan memasukkan luas area penampang struktur apung yang terkena gaya arus (luas area penampang surge, sway dan momen yaw), serta koefisien drag gaya arus

Tabel 4.9A Koefisien Drag Gaya Arus

Direction	surge	sway	yaw
0	0,039	0,000	0,000
10	0,036	0,096	-0,036
20	0,033	0,173	-0,061
30	0,021	0,283	-0,077
40	0,000	0,340	-0,087
50	-0,011	0,411	-0,097
60	-0,011	0,479	-0,117
70	-0,005	0,577	-0,065
80	0,006	0,594	-0,048
90	0,033	0,615	-0,050
100	0,054	0,593	0,005
110	0,056	0,567	0,024
120	0,042	0,469	0,041

Tabel 4.9B Koefisien Drag Gaya Arus (lanjutan)

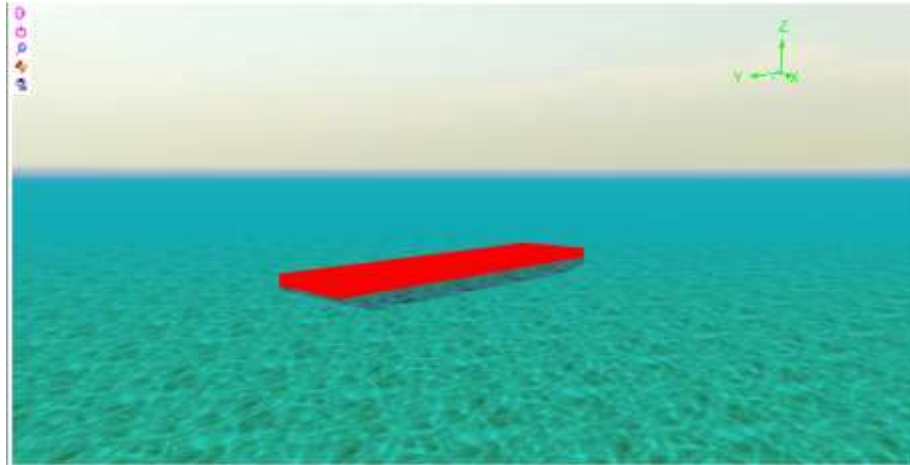
Direction	surge	sway	yaw
130	0,018	0,401	0,048
140	-0,006	0,320	0,048
150	-0,022	0,253	0,041
160	-0,029	0,168	0,027
170	-0,031	0,095	0,012
180	-0,032	0,000	0,000

- Gaya angin, dengan memasukkan luas area penampang struktur apung yang terkena gaya angin (luas area penampang *surge*, *sway* dan momen *yaw*), serta koefisien drag gaya angin

Tabel 4.10 Koefisien Drag Gaya Angin

Direction	surge	sway	yaw
0	0,760	0,000	0,000
10	0,766	0,125	-0,053
20	0,739	0,280	-0,106
30	0,657	0,430	-0,144
40	0,512	0,550	-0,162
50	0,390	0,630	-0,167
60	0,300	0,680	-0,163
70	0,206	0,710	-0,148
80	0,145	0,720	-0,127
90	0,040	0,720	-0,113
100	-0,070	0,710	-0,104
110	-0,190	0,680	-0,093
120	-0,340	0,640	-0,080
130	-0,480	0,560	-0,066
140	-0,610	0,430	-0,050
150	-0,730	0,315	-0,033
160	-0,823	0,200	-0,018
170	-0,900	0,090	-0,008
180	-0,951	0,000	0,000

- *Quadratic Transfer Function* (QTF) non-dimensional sebagai *transfer function* gaya gelombang orde-2



Gambar 4-16. Pemodelan Geometri Struktur FPU Pada OrcaFlex

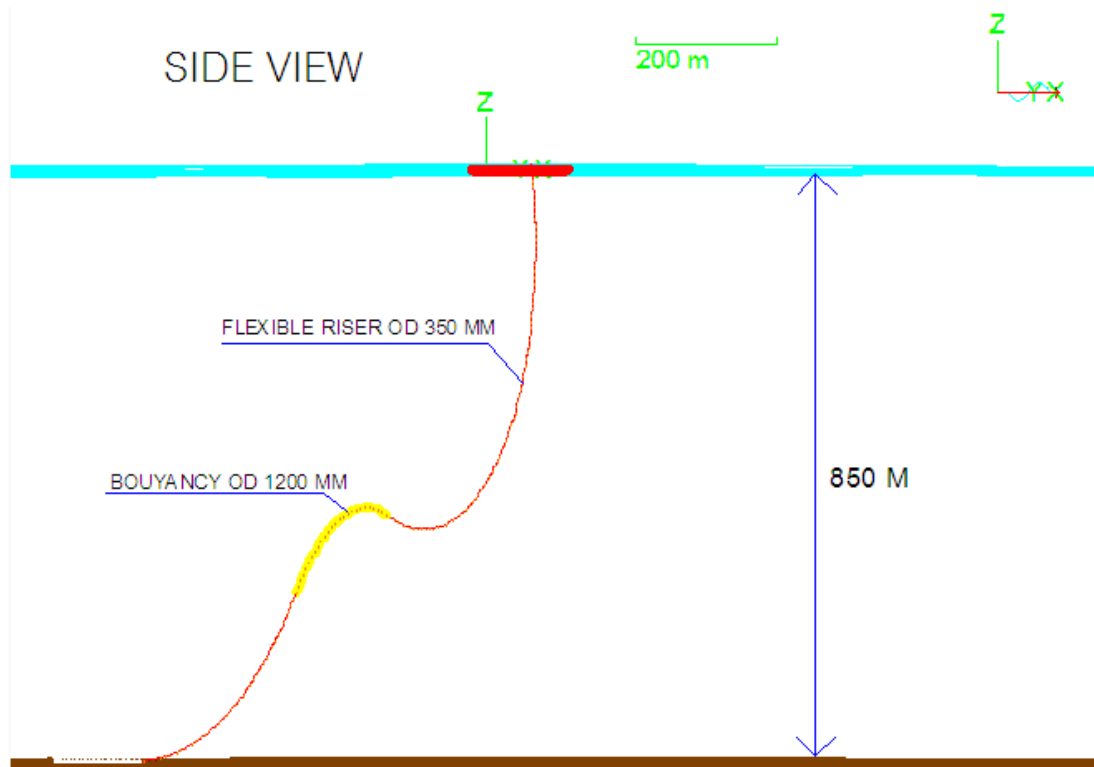
4.4 PEMODELAN *LAZY WAVE FLEXIBLE RISER*

Flexible riser yang terpasang pada FPU West Seno merupakan tipe *Steel Lazy Wave Riser (SLWR)* dengan panjang *riser line* 1650,84 meter dan memiliki *outer diameter* 350 mm. Pada *flexible riser* terdapat *bouyancy (line with floats)* berdiameter 1200 mm yang terpasang pada radius 800 meter dari FPU.

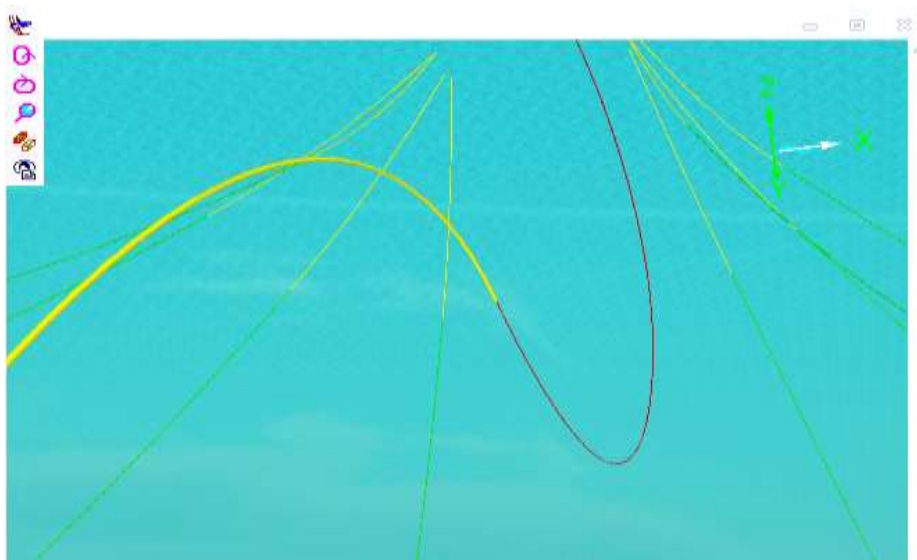
Setelah properties *flexible riser* telah ditentukan dan bentuk geometri FPU telah dimodelkan ke dalam software OrcaFlex, maka langkah berikutnya adalah menentukan posisi dari *flexible riser* yang akan diletakkan pada struktur FPU dengan cara memasukkan koordinat posisi *flexible riser* terhadap titik acuan awal FPU pada OrcaFlex. Pada Tabel dibawah ini merupakan koordinat posisi *flexible riser* pada FPU dan seabed.

Tabel 4.11 Koordinat Posisi *Flexible Riser* pada FPU dan Seabed

Description	Location at FPU		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Steel Lazy Wave Flexible Riser	34,326	-20,59	4,24
	Location at seabed		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
	23	-1200	-850



Gambar 4-17. Desain *Flexible Riser* FPU West Seno – Tampak Samping



Gambar 4-18. Pemodelan *Flexible Riser* FPU West Seno Pada OrcaFlex

4.5 PEMODELAN TALI TAMBAT PADA STRUKTUR FPU

Setelah bentuk geometri FPU beserta *flexible riser* telah dimodelkan pada *software* OrcaFlex, langkah berikutnya adalah memodelkan tali tambat sesuai dengan konfigurasi dan skenario jumlah *line* yang telah ditentukan. Pertama-tama adalah dengan menentukan panjang *mooring line*. Perhitungan panjang *mooring line* dan radius horizontal x didasarkan pada buku *Design of Ocean Systems – Mooring Dynamics, 2011*. Langkah-langkah perhitungan panjang *mooring line* dan radius horizontal x adalah sebagai berikut :

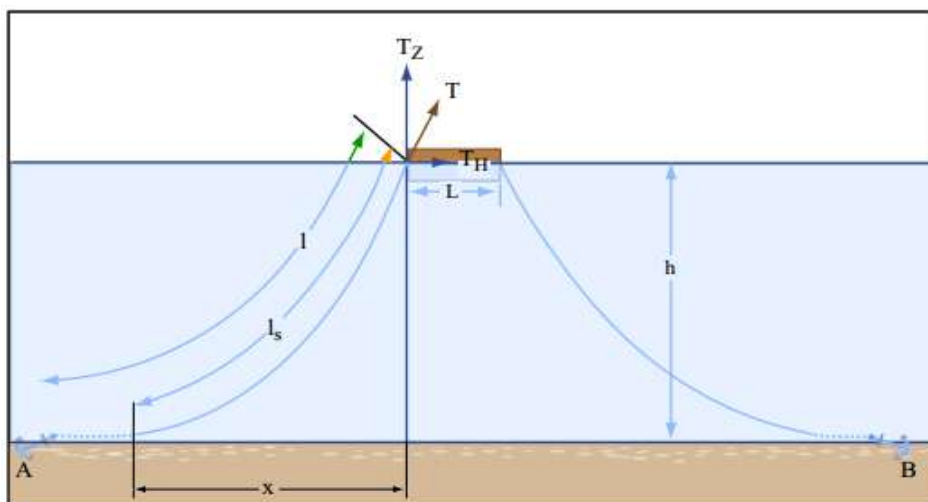
- Perhitungan Beban Lingkungan

Perhitungan beban lingkungan berdasarkan pada OCIMF - *Estimating The Environmental Load On Anchoring Systems*. Berikut adalah ringkasan hasil perhitungan beban-beban lingkungan (*wind force, current force, drift force*).

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Beban Lingkungan

<i>Environmental Load Calculation Result</i>		
<i>Wind Force</i>	=	54,327 ton
<i>Current Force</i>	=	58,435 ton
<i>Drift force</i>	=	69,309 ton
<i>Total Environmental Load</i>	=	182,071 ton
<i>Load at 1 line</i>	=	45,517 ton

- Perhitungan Panjang Mooring Line (*Scenario I 8-Lines*)



Gambar 4-19. Model Tali Tambat Catenary
(MIT,2011)

Tali tambat yang didesain lentur (*catenary*) dihitung berdasarkan persamaan *catenary*. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah kondisi dasar laut yang datar dan mengabaikan kekakuan *bending*. Asumsi dengan mengabaikan kekakuan *bending* pada *chain* telah disepakati secara luas, namun untuk jenis *wire rope* hanya rope dengan *curvature* kecil yang masih memadai jika menggunakan persamaan *catenary* (MIT, 2011).

Untuk perhitungan *horizontal force* dengan diketahui *tension* pada *fairlead* adalah sebagai berikut :

$$T_H(\text{with elasticity}) = AE \sqrt{\left(\frac{T}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE}} - AE \quad (4.7)$$

$$T_H(\text{without elasticity}) = T - wh \quad (4.8)$$

Selanjutnya untuk menghitung panjang tali minimum (sebelum penambahan *safety factor*) dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$l_{min}(\text{with elasticity}) = \frac{1}{w} \sqrt{T^2 - TH^2} \quad (4.9)$$

$$l_{min}(\text{without elasticity}) = h \left(\frac{2T}{wh} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.10)$$

Berikutnya untuk menghitung radius horizontal minimum (panjang pada *plan view* dari *fairlead* ke *touchdown point*) dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$x(\text{with elasticity}) = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \frac{wl_{min}}{T_H} + \frac{T_H l_{min}}{AE} \quad (4.11)$$

$$x(\text{without elasticity}) = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \left(\frac{wl_{min}}{T_H} \right) \quad (4.12)$$

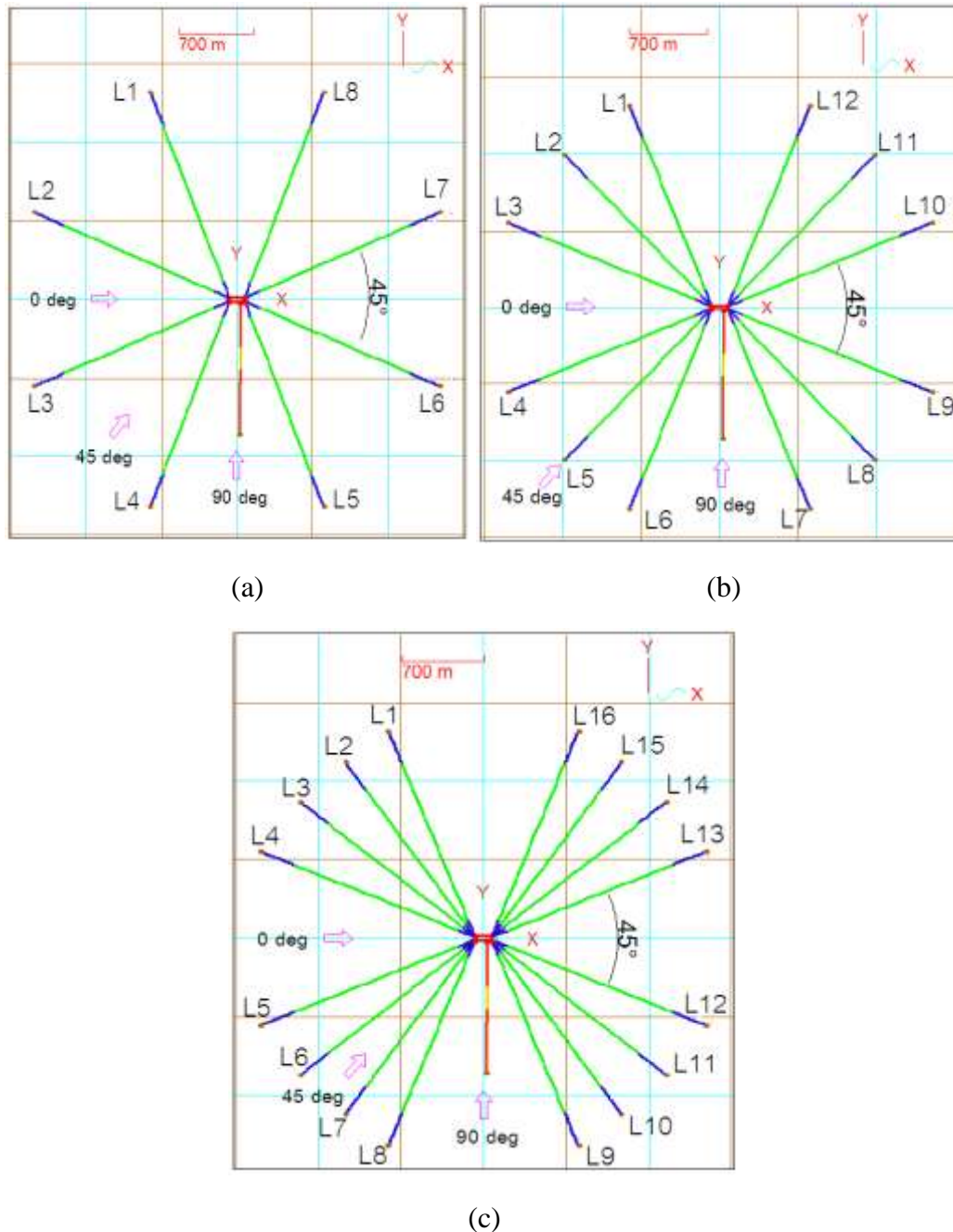
Berdasarkan persamaan-persamaan diatas maka telah didapatkan hasil perhitungan panjang *minimum mooring line* beserta radius horizontalnya untuk skenario *spread mooring I (symmetry 45° 8-lines)* dan disajikan dalam **Tabel 4.13** berikut.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Panjang *Mooring Line* dan Radius X *Scenario I*

	<i>Chain (Fairlead)</i>	<i>Wire Rope (Intermediate)</i>	<i>Chain (Ground)</i>	
T	45,5179	45,5179	45,5179	ton
<i>h (depth)</i>	35	700	115	m
<i>Diameter</i>	70	75	70	mm
<i>Massa (w)</i>	0,107	0,022	0,107	ton/m
E	5550000	113000000	5550000	ton/m ²
A	0,00385	0,00442	0,00385	m ²
AE	21367,5	499419,643	21367,5	ton
T/AE	0,002130243	9,11417E-05	0,002130243	
TH	41,773	31,518	33,213	ton
<i>l min (with elasticity)</i>	168,97	1642,03	290,89	m
<i>l min (without elasticity)</i>	168,976	1642,029	290,89	m
<i>Radius x min (with elasticity)</i>	164,101	1435,229	259,564	m
<i>Radius x min (without elasticity)</i>	164,432	1435,333	260,017	m

Selanjutnya setelah didapatkan panjang *minimum mooring line* dan radius horizontal x, maka dapat ditentukan ordinat posisi dari *fairlead* yang akan diletakkan pada struktur FPU dan posisi jangkar dengan cara memasukkan koordinat terhadap titik acuan awal FPU. Posisi *fairlead* dan jangkar menyesuaikan dengan skenario variasi jumlah *mooring line* yang telah ditentukan.

Pada skenario I, jumlah *line* yaitu sebanyak 8 *lines* dengan sudut konfigurasi simetris 45°. Untuk arah pembebanan 0° berhadapan langsung dengan *line 2* dan *line 3*. Kemudian pada skenario II, jumlah *line* yaitu sebanyak 12 *lines* dengan sudut konfigurasi simetris 45°, dimana untuk arah pembebanan 0° berhadapan langsung dengan *line 3* dan *line 4*. Sedangkan pada skenario III, jumlah *line* yaitu sebanyak 16 *lines* dengan sudut konfigurasi simetris 45°, dimana arah pembebanan 0° berhadapan langsung dengan *line 4* dan *line 5*. Desain skenario variasi jumlah *mooring line* dapat dilihat pada **Gambar 4-20**.

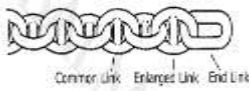

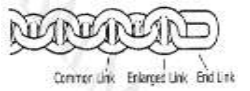


Gambar 4-20. Desain Skenario Variasi Jumlah Mooring Line Tampak Atas : *Symmetry 8-lines* (a), *Symmetry 8-lines* (b), *Symmetry 16-lines* (c)

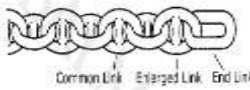

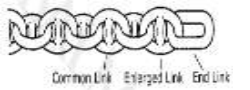
Tipe *mooring line* yang digunakan pada struktur FPU tipe *mooring line* yang digunakan yaitu gabungan antara *chain (fairlead)*, *wire rope (intermediate)* dan *chain (ground)*. Untuk *fairlead chain* menggunakan tipe *studlink chain R4-RQ4* (Rig Quality 4). Kemudian untuk *intermediate wire rope* menggunakan tipe *6 x 19 wire with wire core*, dengan konfigurasi 9/9/1 (6

STRANDS comprising 19 wires in a strand are laid 9 around 9 around 1 centre wire, or 'SEALE'). Sedangkan untuk *ground chain* menggunakan tipe *studlink chain* original ORQ (Oil Rig Quality). Spesifikasi properties sistem tambat skenario I, skenario II dan skenario III dapat dilihat pada **Tabel 4.14-4.16**

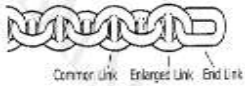
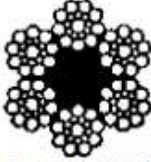
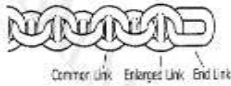
Tabel 4.14 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario I (8-lines)

	<i>Chain (Fairlead)</i>	<i>Wire Rope (Intermediate)</i>	<i>Chain (Ground)</i>	
Panjang	256	1654	308	m
Diameter	70	75	70	mm
Massa	0,107	0,022	0,107	ton/m
Type	Studlink 	6 x 19 wire with wire core  6 x 19 (9/9/1) 'SEALE'	Studlink 	
Spec	R4	-	ORQ	
MBL	5155	3562	3970	kN

Tabel 4.15 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario II (12-lines)

	<i>Chain (Fairlead)</i>	<i>Wire Rope (Intermediate)</i>	<i>Chain (Ground)</i>	
Panjang	256	1654	308	m
Diameter	57	61	57	mm
Massa	0,071	0,015	0,071	ton/m
Type	Studlink 	6 x 19 wire with wire core  6 x 19 (9/9/1) 'SEALE'	Studlink 	
Spec	R4	-	ORQ	
MBL	3511,051	2356,726	2703,766	kN

Tabel 4.16 Spesifikasi Properties Sistem Tambat Skenario III (16-lines)

	<i>Chain (Fairlead)</i>	<i>Wire Rope (Intermediate)</i>	<i>Chain (Ground)</i>	
Panjang	256	1654	308	m
Diameter	49	52	49	mm
Massa	0,053	0,011	0,053	ton/m
Type	<p>Studlink</p> 	<p>6 x 19 wire with wire core</p>  <p>6 x 19 (9/9/1) 'SEALE'</p>	<p>Studlink</p> 	
Spec	R4	-	ORQ	
MBL	2636,759	1712,601	2030,497	kN

Pada **Tabel 4.17** dan **Tabel 4.18** menunjukkan posisi dari *fairlead* dan posisi jangkar untuk konfigurasi simetris 8-lines.

Tabel 4.17 Letak fairlead pada *symmetry 8-lines*

Name	Position		
	x	y	z
fairlead 1	-71,2	17,04	4,24
fairlead 2	-74,2	14,04	4,24
fairlead 3	-74,2	-14,04	4,24
fairlead 4	-71,2	-17,04	4,24
fairlead 5	71,2	-17,04	4,24
fairlead 6	74,2	-14,04	4,24
fairlead 7	74,2	14,04	4,24
fairlead 8	71,2	17,04	4,24

Tabel 4.18 Letak jangkar pada *symmetry 8-lines*

Name	Position		
	x	y	z
anchor 1	-804,292	1842,678	-850
anchor 2	-1888,424	774,940	-850
anchor 3	-1888,424	-774,940	-850
anchor 4	-804,292	-1842,678	-850
anchor 5	804,292	-1842,678	-850
anchor 6	1888,424	-774,940	-850
anchor 7	1888,424	774,940	-850
anchor 8	804,292	1842,678	-850

Pada **Tabel 4.19** dan **Tabel 4.20** menunjukkan posisi dari *fairlead* dan posisi jangkar untuk konfigurasi simetris *12-lines*.

Tabel 4.19 Letak fairlead pada *symmetry 12-lines*

Name	Position		
	x	y	z
fairlead 1	-71,2	17,04	4,24
fairlead 2	-74,2	16,927	4,24
fairlead 3	-74,2	14,04	4,24
fairlead 4	-74,2	-14,04	4,24
fairlead 5	-74,2	-16,927	4,24
fairlead 6	-71,2	-17,04	4,24
fairlead 7	71,2	-17,04	4,24
fairlead 8	74,2	-16,927	4,24
fairlead 9	74,2	-14,04	4,24
fairlead 10	74,2	14,04	4,24
fairlead 11	74,2	16,927	4,24
fairlead 12	71,2	17,04	4,24

Tabel 4.20 Letak jangkar pada *symmetry 12-lines*

Name	Position		
	x	y	z
anchor 1	-804,292	1842,678	-850
anchor 2	-1382,597	1395,674	-850
anchor 3	-1888,424	774,940	-850
anchor 4	-1888,424	-774,940	-850
anchor 5	-1382,597	-1395,674	-850
anchor 6	-804,292	-1842,678	-850
anchor 7	804,292	-1842,678	-850
anchor 8	1382,597	-1395,674	-850
anchor 9	1888,424	-774,940	-850
anchor 10	1888,424	774,940	-850
anchor 11	1382,597	1395,674	-850
anchor 12	804,292	1842,678	-850

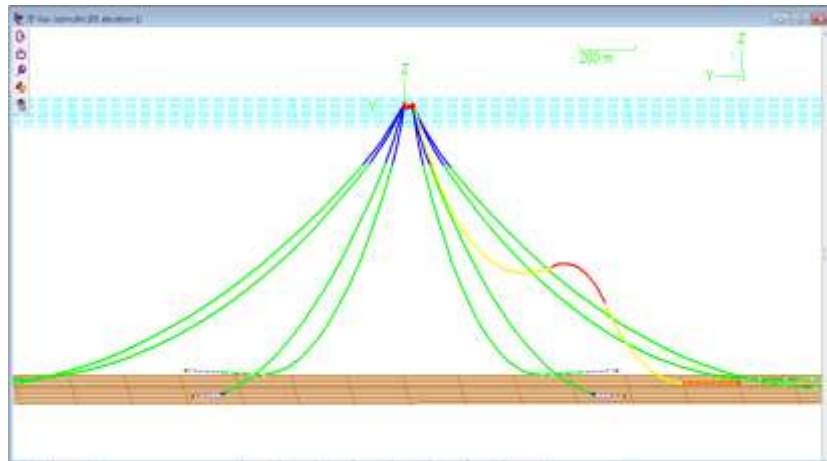
Pada **Tabel 4.21** dan **Tabel 4.22** menunjukkan posisi dari *fairlead* dan posisi jangkar untuk konfigurasi simetris *16-lines*.

Tabel 4.21 Letak fairlead pada *symmetry 16-lines*

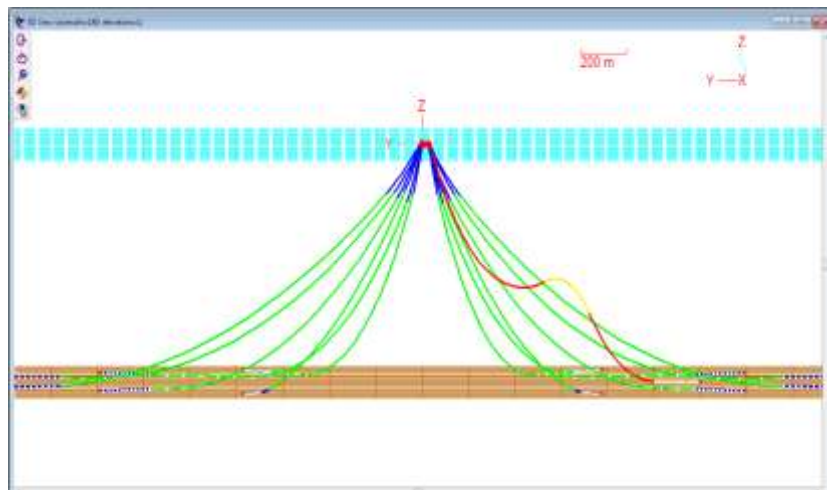
Name	Position		
	x	y	z
fairlead 1	-71,2	17,04	4,24
fairlead 2	-73,2	17,04	4,24
fairlead 3	-74,2	16,04	4,24
fairlead 4	-74,2	14,04	4,24
fairlead 5	-74,2	-14,04	4,24
fairlead 6	-74,2	-16,04	4,24
fairlead 7	-73,2	-17,04	4,24
fairlead 8	-71,2	-17,04	4,24
fairlead 9	71,2	-17,04	4,24
fairlead 10	73,2	-17,04	4,24
fairlead 11	74,2	-16,04	4,24
fairlead 12	74,2	-14,04	4,24
fairlead 13	74,2	14,04	4,24
fairlead 14	74,2	16,04	4,24
fairlead 15	73,2	17,04	4,24
fairlead 16	71,2	17,04	4,24

Tabel 4.22 Letak jangkar pada *symmetry 16-lines*

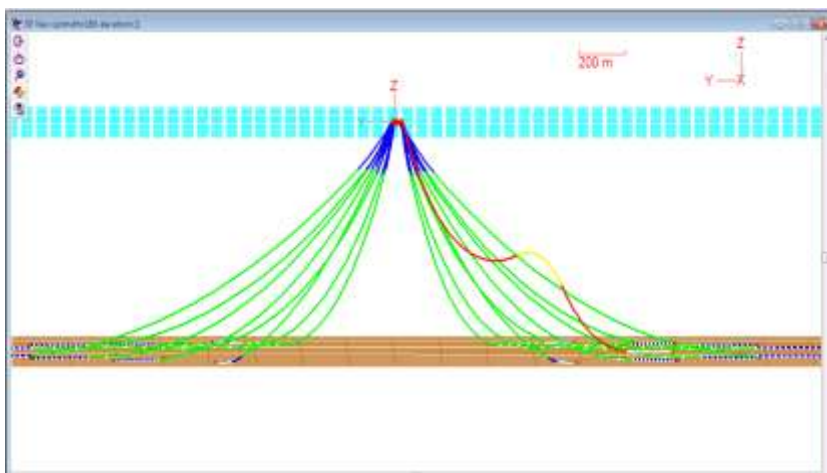
Name	Position		
	x	y	z
anchor 1	-804,2929	1842,6783	-850
anchor 2	-1170,485	1569,31	-850
anchor 3	-1550,233	1215,586	-850
anchor 4	-1888,4246	774,9405	-850
anchor 5	-1888,4246	-774,9405	-850
anchor 6	-1550,233	-1215,586	-850
anchor 7	-1170,485	-1569,31	-850
anchor 8	-804,2929	-1842,6783	-850
anchor 9	804,2929	-1842,6783	-850
anchor 10	1170,485	-1569,31	-850
anchor 11	1550,233	-1215,586	-850
anchor 12	1888,4246	-774,9405	-850
anchor 13	1888,4246	774,9405	-850
anchor 14	1550,233	1215,586	-850
anchor 15	1170,485	1569,31	-850
anchor 16	804,2929	1842,6783	-850



(a)



(b)



(c)

Gambar 4-21. Pemodelan Sistem Tambat dan Riser Pada OrcaFlex : Skenario I *Symmetry 16-lines* (a), Skenario II *Symmetry 16-lines* (b), Skenario III *Symmetry 16-lines* (c)

4.6 ANALISIS *MOORING TENSION* DAN *OFFSET* PADA FPU

Analisis *mooring tension* dan *offset* FPU pada pengerjaan Tugas Akhir ini menggunakan software OrcaFlex. Analisis dilakukan dengan metode *Time-Domain* yang masing-masing disimulasikan selama tiga jam (10800 detik). Analisis dilakukan berbasis *Time-Domain* karena faktor-faktor yang terkandung di dalamnya berupa *non linier* yang tidak relevan jika dilakukan dengan *Frequency-Domain*. Oleh karena itu untuk mengakomodasi faktor-faktor *non linier* tersebut maka persamaan gerak dari hukum-2 Newton diselesaikan dalam fungsi waktu. Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$.

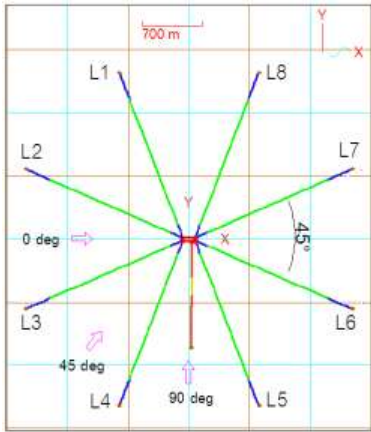
Terdapat tiga skenario sistem *spread mooring* dengan variasi jumlah line, dimana pada setiap skenario mendapatkan beban lingkungan dengan arah 0°, 45° dan 90°. Pada masing-masing arah pembebanan dilakukan analisis pada kondisi ULS dan ALS. Pada kondisi ALS atau *one line damaged*, *mooring line* yang mengalami *tension* terbesar (pada analisis ULS) diasumsikan putus pada detik ke-1800. *Maximum tension* yang telah didapatkan pada masing-masing *mooring line*, selanjutnya dilakukan pengecekan *safety factor* sesuai dengan API RP 2 SK untuk mengetahui bahwa *mooring line* masih dalam batas aman atau tidak. (ULS > 1.67 dan ALS > 1.25)

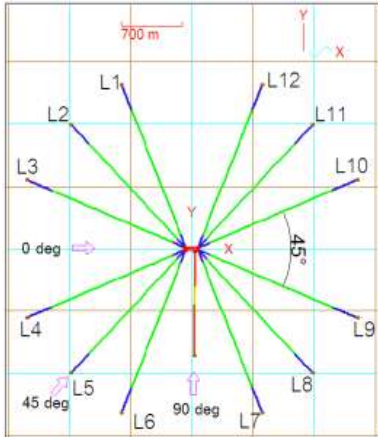
4.6.1 Kondisi *Maximum Draft* (T = 5,81 m)

4.6.1.1 *Heading* 0° ULS

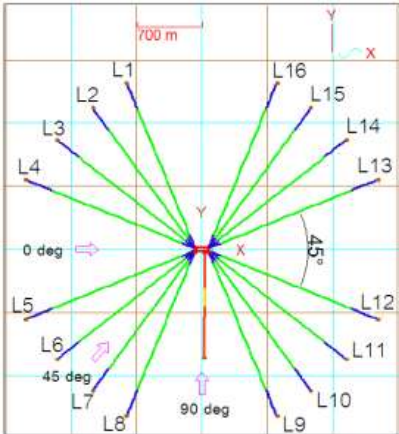
Arah pembebanan 0° merupakan arah *head seas* berdasarkan orientasi FPU West Seno. Pada simulasi FPU dengan pembebanan 0° ULS untuk skenario I, skenario II dan skenario III yang telah di modelkan pada software OrcaFlex akan disimulasikan dengan berbasis *time domain* selama 10800 detik. Berikut ini adalah rangkuman hasil nilai *maximum mooring tension*, *significant mooring tension*, dan *Offset* FPU pada sistem *spread mooring* skenario I, skenario II dan skenario III dengan arah pembebanan 0° kondisi ULS.

Tabel 4.23A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 0° - ULS

Mooring Tension Result Analysis						
Symmetry 8-lines 0° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	695,781	687,903	3,39	1,74	-0,17
	Line 2	814,733	804,286	2,89		
	Line 3	770,446	760,801	3,06		
	Line 4	645,569	638,002	3,65		
	Line 5	538,410	532,910	4,38		
	Line 6	491,347	486,112	4,80		
	Line 7	507,568	501,846	4,64		
	Line 8	588,163	581,774	4,01		

Symmetry 12-lines 0° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	473,623	468,801	4,98	1,54	-0,11
	Line 2	405,826	400,946	5,81		
	Line 3	593,087	586,093	3,97		
	Line 4	552,810	546,393	4,26		
	Line 5	386,972	382,414	6,09		
	Line 6	437,168	432,250	5,39		
	Line 7	349,748	346,444	6,74		
	Line 8	285,620	282,960	8,25		
	Line 9	314,859	311,044	7,49		
	Line 10	323,290	319,942	7,29		
	Line 11	296,510	293,868	7,95		
	Line 12	384,289	380,601	6,13		

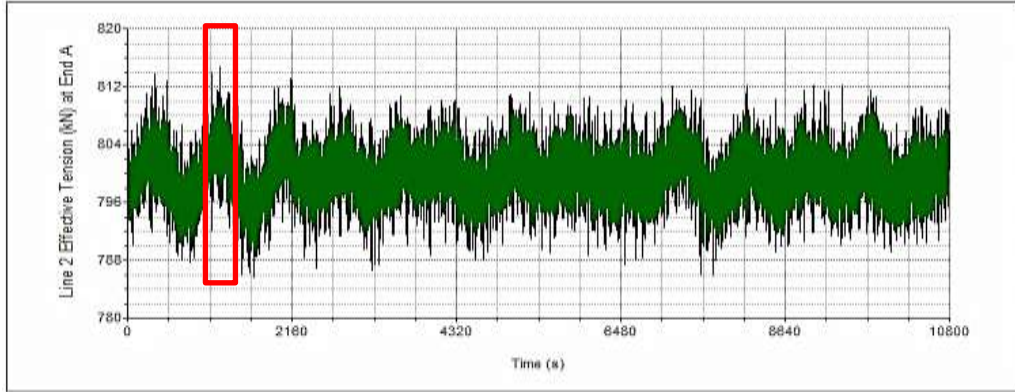
Tabel 4.23B Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 0° - ULS
(lanjutan)

Symmetry 16-lines 0° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	346,926	343,288	4,94	1,43	-0,08
	Line 2	296,294	293,034	5,78		
	Line 3	316,043	312,383	5,42		
	Line 4	457,947	452,778	3,74		
	Line 5	422,838	418,100	4,05		
	Line 6	300,769	297,183	5,69		
	Line 7	280,070	276,761	6,11		
	Line 8	318,758	315,094	5,37		
	Line 9	247,264	244,754	6,93		
	Line 10	203,432	201,698	8,42		
	Line 11	197,215	195,410	8,68		
	Line 12	217,981	215,750	7,86		
	Line 13	225,183	222,978	7,61		
	Line 14	204,204	202,387	8,39		
	Line 15	214,717	212,874	7,98		
	Line 16	272,564	269,869	6,28		

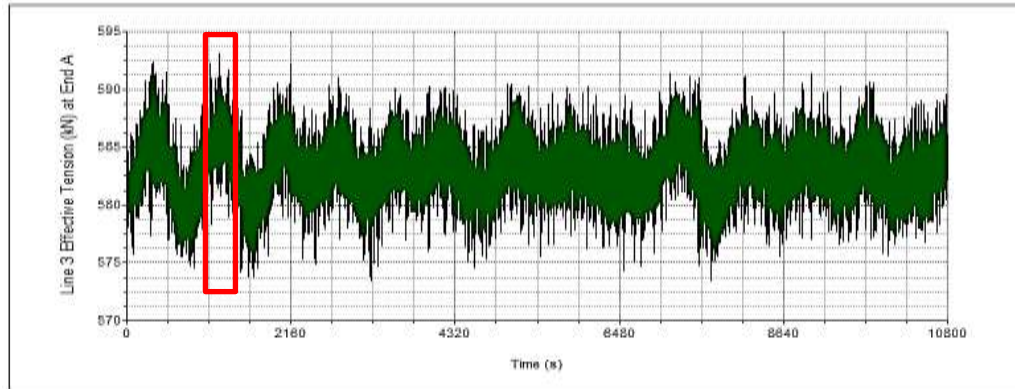
Pada **Tabel 4.23** menunjukkan bahwa pada *heading* 0° kondisi ULS untuk skenario I, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 2 dengan *tension* maksimum sebesar 814,733 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario I *heading* 0° berhadapan langsung dengan *line* 2 dan *line* 3. Sehingga lebih banyak menerima beban daripada *mooring line* lainnya. Sedangkan untuk skenario II, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 3 dengan *tension* maksimum sebesar 593,087 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario II *heading* 0° berhadapan langsung dengan *line* 3 dan *line* 4. Kemudian untuk skenario III, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 4 dengan *tension* maksimum sebesar 457,947 kN. Hal ini disebabkan karena pada skenario III *heading* 0° berhadapan langsung dengan *line* 4 dan *line* 5.

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang *tension* yang terjadi di setiap detiknya, maka dapat diketahui nilai *tension* signifikan pada tiap-tiap *mooring line*. Pada **Tabel 4.23** menunjukkan *tension*

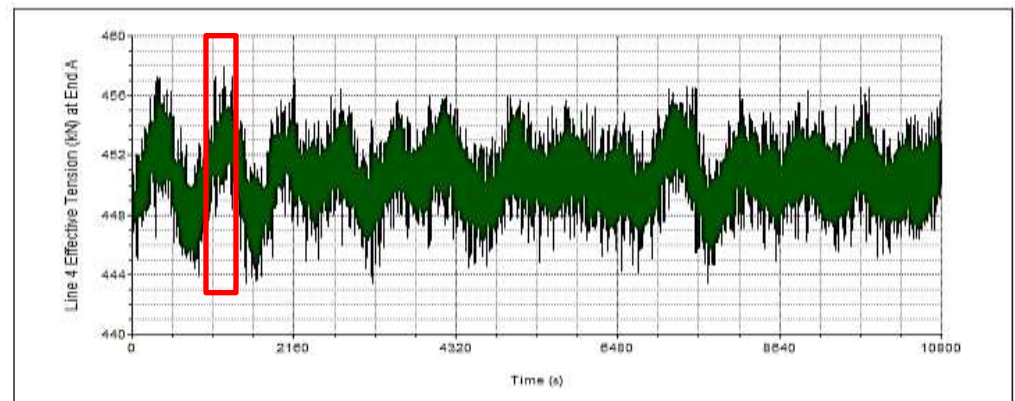
signifikan untuk skenario I, pada *line 2* sebesar 804,286 kN, kemudian untuk skenario II, pada *line 3* sebesar 586,093 kN, sedangkan untuk skenario III, pada *line 4* sebesar 452,778 kN.



(a)



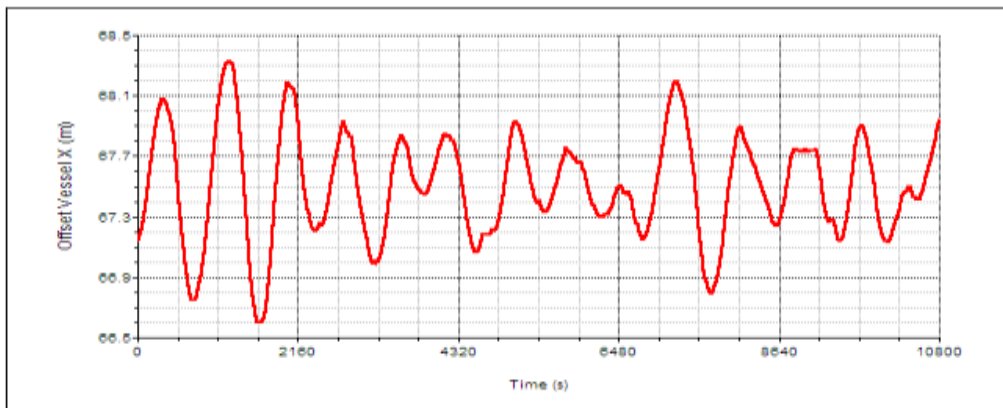
(b)



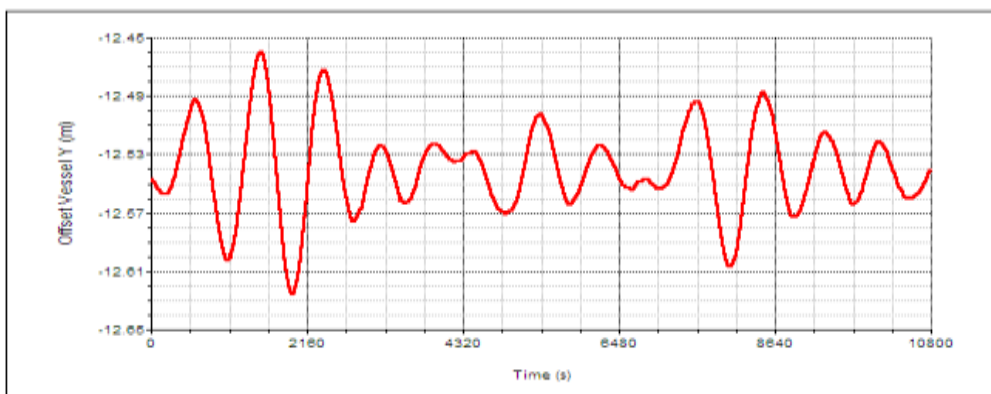
(c)

Gambar 4-22 Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 0° - Kondisi ULS Selama 10800 detik : *Mooring Line 2* Skenario I (a), *Mooring Line 3* Skenario II (b), *Mooring Line 4* Skenario III (c)

Pada **Gambar 4-22** menunjukkan rekaman tension yang diambil dalam waktu 0-10800 sec. Pengambilan sampel tension menunjukkan satu fase respon tension terjadi dalam periode rata-rata antara 5-10 detik. Pada **Gambar 4-22 (a)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 2* skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-1220,689 sec. Frekuensi kejadian *tension* terbesar (antara 810 kN – 815 kN) hanya terjadi 0,006% dibandingkan dengan keseluruhan kejadian. Sedangkan pada **Gambar 4-22 (b)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 3* skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-1222,174 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-22 (c)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 4* skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-1223,263 sec.



(a)



(b)

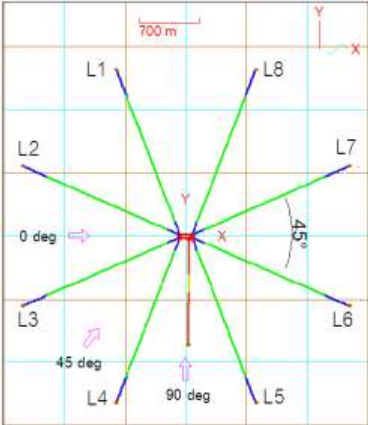
Gambar 4-23 Rekam *Offset Vessel* Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 0°-Kondisi ULS : ordinat X (a) , ordinat Y (b)

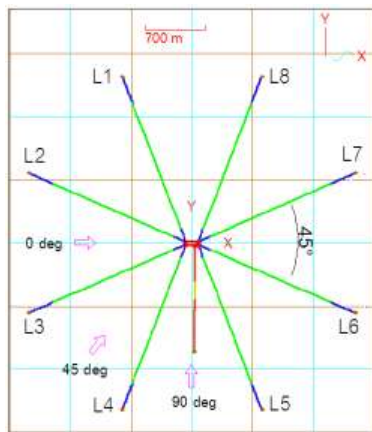
Pada **Gambar 4-23** menunjukkan pada skenario I, FPU mengalami *offset* dinamis sebesar 1,74 m pada arah ordinat X dan -0,17 meter pada arah ordinat Y. FPU mengalami *offset* lebih besar dengan sistem *spread mooring* skenario I daripada skenario II dan skenario III. Hal ini dikarenakan pada skenario I jumlah *line* lebih sedikit, sehingga lebih kecil mendapatkan redaman.

4.6.1.2 Heading 0° ALS

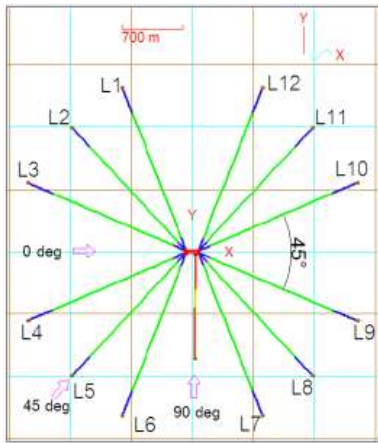
Pada simulasi FPU dengan pembebanan 0° ALS untuk skenario I, skenario II dan skenario III yang telah di modelkan pada *software* OrcaFlex akan disimulasikan dengan berbasis *time domain* selama 10800 detik. Pada simulasi ALS atau *one line damaged* , *mooring line* yang mengalami tension terbesar (pada analisis ULS) diasumsikan putus pada detik ke-1800. Berikut ini adalah rangkuman hasil nilai *maximum mooring tension*, *significant mooring tension*, dan *Offset* FPU pada sistem *spread mooring* skenario I, skenario II dan skenario III dengan arah pembebanan 0° kondisi ALS.

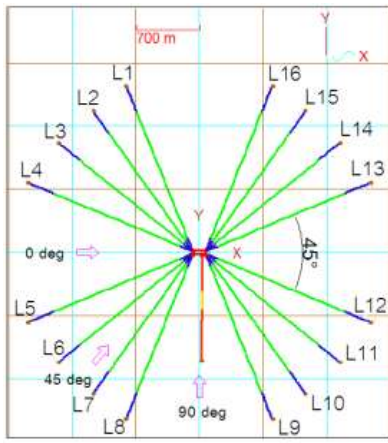
Tabel 4.24A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 0° - ALS

Mooring Tension Result Analysis						
Symmetry 8-lines 0° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	1084,401	917,995	3,29	69,73	-35,81
	Line 2	INACTIVE				
	Line 3	1223,975	1016,847	2,91		
	Line 4	645,468	632,784	5,52		
	Line 5	540,309	511,819	6,59		
	Line 6	490,832	463,218	7,26		
	Line 7	506,469	483,966	7,03		
	Line 8	616,701	595,938	5,78		



Tabel 4.24B Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 0° - ALS
(lanjutan)

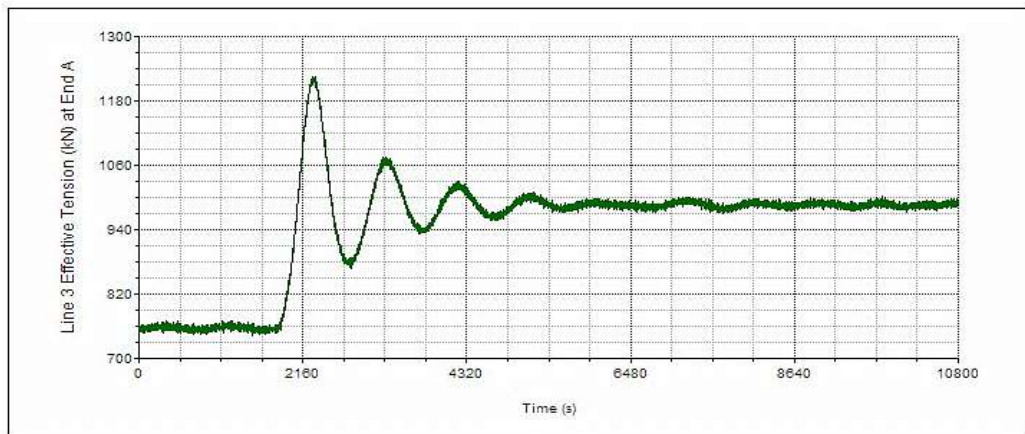
Symmetry 12-lines 0° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	668,178	592,640	3,53	54,73	-28,56
	Line 2	513,400	469,002	4,59		
	Line 3	INACTIVE				
	Line 4	820,659	708,464	2,87		
	Line 5	410,566	397,462	5,74		
	Line 6	437,168	429,421	5,39		
	Line 7	349,885	335,123	6,74		
	Line 8	285,140	276,618	8,27		
	Line 9	314,222	298,920	7,50		
	Line 10	322,803	311,186	7,30		
	Line 11	296,158	291,666	7,96		
	Line 12	399,400	389,115	5,90		

Symmetry 16-lines 0° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	448,172	411,468	3,82	43,30	-21,80
	Line 2	356,690	333,083	4,80		
	Line 3	412,123	372,931	4,16		
	Line 4	INACTIVE				
	Line 5	586,351	522,337	2,92		
	Line 6	326,274	313,785	5,25		
	Line 7	288,658	282,414	5,93		
	Line 8	318,462	313,650	5,38		
	Line 9	247,182	238,077	6,93		
	Line 10	203,326	197,634	8,42		
	Line 11	197,024	191,057	8,69		
	Line 12	217,820	209,016	7,86		
	Line 13	262,158	218,166	6,53		
	Line 14	203,958	200,428	8,40		
	Line 15	214,462	212,337	7,99		
	Line 16	280,696	274,773	6,10		

Pada **Tabel 4.24** menunjukkan bahwa pada *heading* 0° kondisi ALS untuk skenario I, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 3 dengan

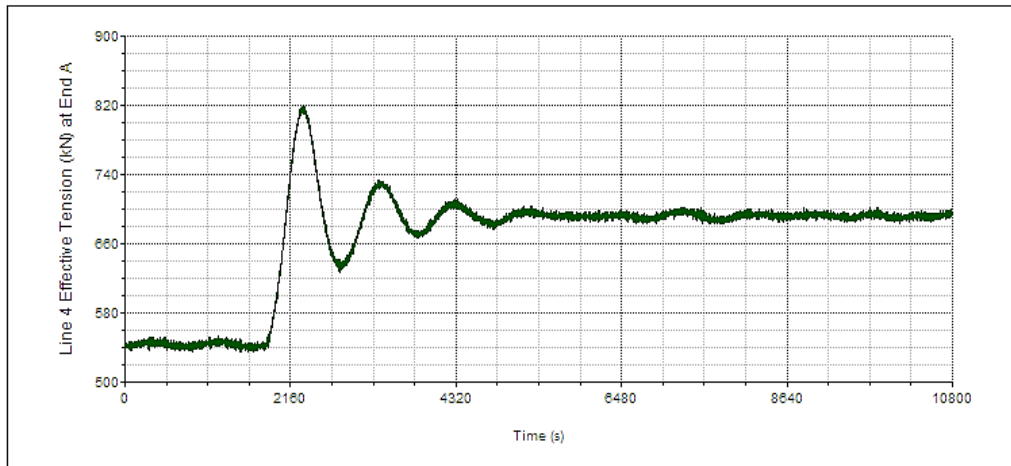
tension maksimum sebesar 1223,975 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario I *heading* 0° kondisi ALS, *mooring line* 2 mengalami putus. Sehingga *mooring line* 3 secara signifikan mengalami peningkatan beban yang lebih besar daripada *mooring line* lainnya. Sedangkan untuk skenario II, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 4 dengan *tension* maksimum sebesar 820,659 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario II *heading* 0° kondisi ALS, *mooring line* 3 mengalami putus. Kemudian untuk skenario III, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 5 dengan *tension* maksimum sebesar 586,351 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario III *heading* 0° kondisi ALS, *mooring line* 4 mengalami putus, yang mengakibatkan *mooring line* 5 menahan beban lingkungan yang lebih besar daripada *mooring line* lainnya.

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang *tension* yang terjadi di setiap detiknya, maka dapat diketahui nilai *tension* signifikan pada tiap-tiap *mooring line*. Pada **Tabel 4.24** menunjukkan *tension* signifikan untuk skenario I, pada *line* 3 sebesar 1016,847 kN, kemudian untuk skenario II, pada *line* 4 sebesar 708,464 kN, sedangkan untuk skenario III, pada *line* 5 sebesar 522,337 kN.

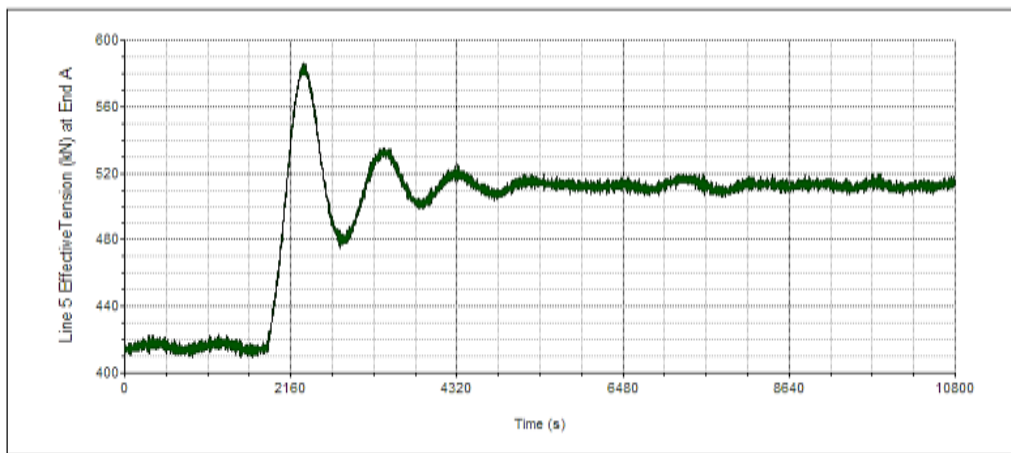


(a)

Gambar 4-24A Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 0° - Kondisi ALS Selama 10800 detik : *Mooring Line* 3 Skenario I (a), *Mooring Line* 4 Skenario II (b), *Mooring Line* 5 Skenario III (c)



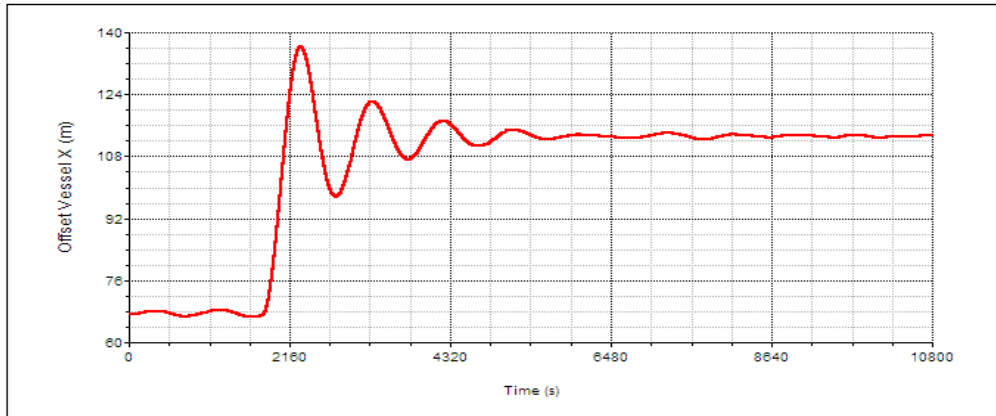
(b)



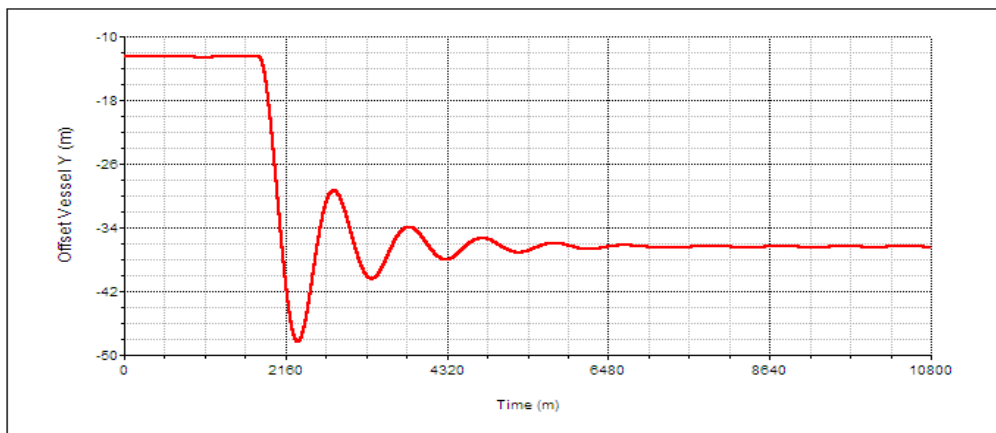
(c)

Gambar 4-24B Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 0° - Kondisi ALS Selama 10800 detik : *Mooring Line 3* Skenario I (a), *Mooring Line 4* Skenario II (b), *Mooring Line 5* Skenario III (c) (lanjutan)

Pada **Gambar 4-24** diatas dapat dilihat bahwa ketiga grafik mengalami peningkatan secara signifikan setelah detik ke-1800 (setelah *mooring line* putus). Pada **Gambar 4-24 (a)** menunjukkan grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 3* skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2297,116 sec. Sedangkan pada **Gambar 4-24 (b)** menunjukkan grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 4* skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2325,628 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-24 (c)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 5* skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2325,232 sec.



(a)



(b)

Gambar 4-25 Rekam *Offset Vessel* Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 0° -Kondisi ALS : ordinat X (a) , ordinat Y (b)

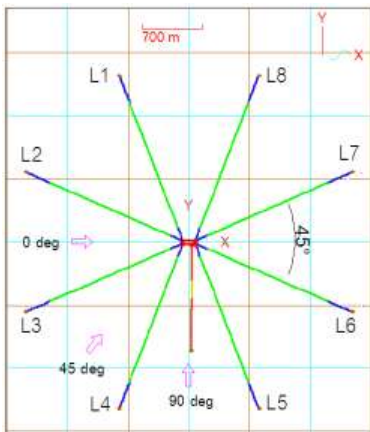
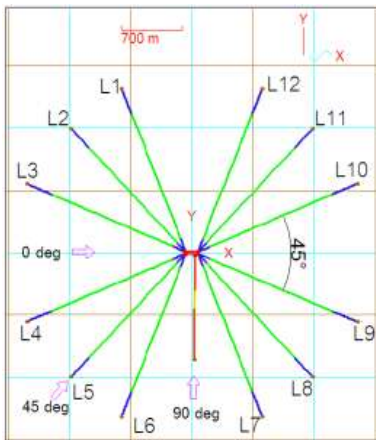
Pada **Gambar 4-25** menunjukkan pada skenario I, FPU mengalami offset dinamis sebesar 69,73 m pada arah ordinat X dan -35,81 meter pada arah ordinat Y. FPU mengalami *offset* lebih besar dengan sistem *spread mooring* skenario I daripada skenario II dan skenario III. Hal ini dikarenakan pada skenario I jumlah *line* lebih sedikit, sehingga lebih kecil mendapatkan redaman.

4.6.1.3 Heading 45° ULS

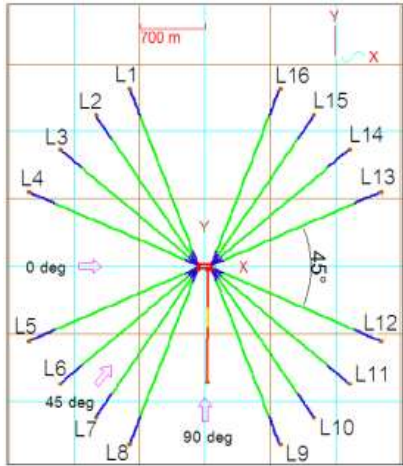
Arah pembebanan 45° merupakan arah *quarter stern seas* berdasarkan orientasi FPU West Seno. Pada simulasi FPU dengan pembebanan 45° ULS untuk skenario I, skenario II dan skenario III yang telah di modelkan pada *software* OrcaFlex akan disimulasikan dengan berbasis *time domain* selama

10800 detik. Berikut ini adalah rangkuman hasil nilai *maximum mooring tension*, *significant mooring tension*, dan *Offset* FPU pada sistem *spread mooring* skenario I, skenario II dan skenario III dengan arah pembebanan 45° kondisi ULS.

Tabel 4.25A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 45° - ULS

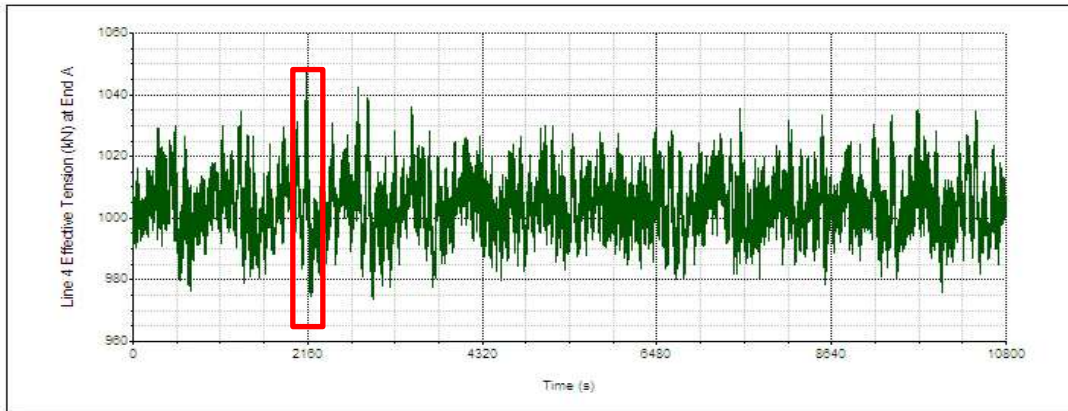
Mooring Tension Result Analysis						
Symmetry 8-lines 45° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	516,611	507,108	6,90	1,47	1,40
	Line 2	646,837	634,886	5,51		
	Line 3	854,577	833,713	4,17		
	Line 4	1047,976	1015,132	3,40		
	Line 5	764,725	748,173	4,66		
	Line 6	586,756	576,130	6,07		
	Line 7	494,154	487,257	7,21		
Line 8	487,225	478,764	7,31			
Symmetry 12-lines 45° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	336,852	330,313	7,00	1,29	1,32
	Line 2	321,534	315,734	7,33		
	Line 3	434,398	426,424	5,43		
	Line 4	618,144	607,445	3,81		
	Line 5	465,629	456,162	5,06		
	Line 6	800,560	775,832	2,94		
	Line 7	536,687	525,202	4,39		
	Line 8	350,853	344,928	6,72		
	Line 9	385,729	379,034	6,11		
	Line 10	317,298	313,197	7,43		
	Line 11	274,700	271,099	8,58		
Line 12	311,260	305,598	7,57			

Tabel 4.25A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 45° - ULS
(lanjutan)

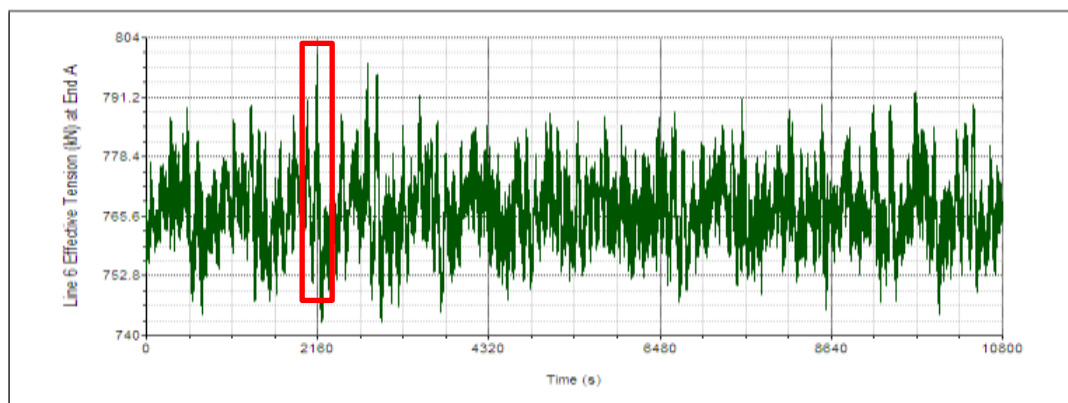
Symmetry 16-lines 45° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	238,367	233,144	7,18	0,86	0,73
	Line 2	221,206	217,147	7,74		
	Line 3	239,828	235,415	7,14		
	Line 4	313,906	308,352	5,46		
	Line 5	470,944	462,578	3,64		
	Line 6	363,010	354,764	4,72		
	Line 7	376,211	365,999	4,55		
	Line 8	630,331	610,032	2,72		
	Line 9	400,670	392,421	4,27		
	Line 10	268,601	264,012	6,38		
	Line 11	248,203	243,360	6,90		
	Line 12	275,004	270,128	6,23		
	Line 13	221,951	218,806	7,72		
	Line 14	191,215	188,656	8,96		
	Line 15	190,350	187,676	9,00		
	Line 16	216,588	212,945	7,91		

Pada **Tabel 4.25** menunjukkan bahwa pada *heading* 45° kondisi ULS untuk skenario I, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 4 dengan *tension* maksimum sebesar 1047,976 kN. Sedangkan untuk skenario II, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 6 dengan *tension* maksimum sebesar 800,560 kN. Kemudian untuk skenario III, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 8 dengan *tension* maksimum sebesar 630,331 kN.

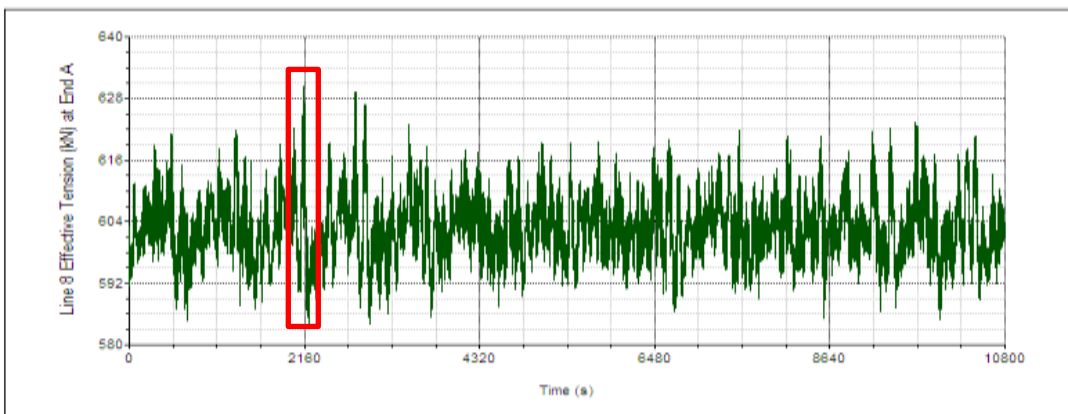
Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang *tension* yang terjadi di setiap detiknya, maka dapat diketahui nilai *tension* signifikan pada tiap-tiap *mooring line*. Pada **Tabel 4.25** menunjukkan *tension* signifikan untuk skenario I, pada *line* 4 sebesar 1015,132 kN, kemudian untuk skenario II, pada *line* 6 sebesar 775,832 kN, sedangkan untuk skenario III, pada *line* 8 sebesar 610,032 kN.



(a)



(b)

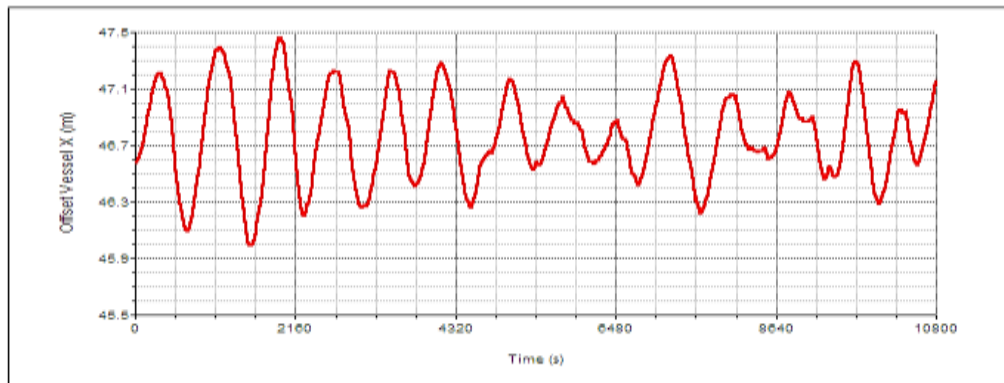


(c)

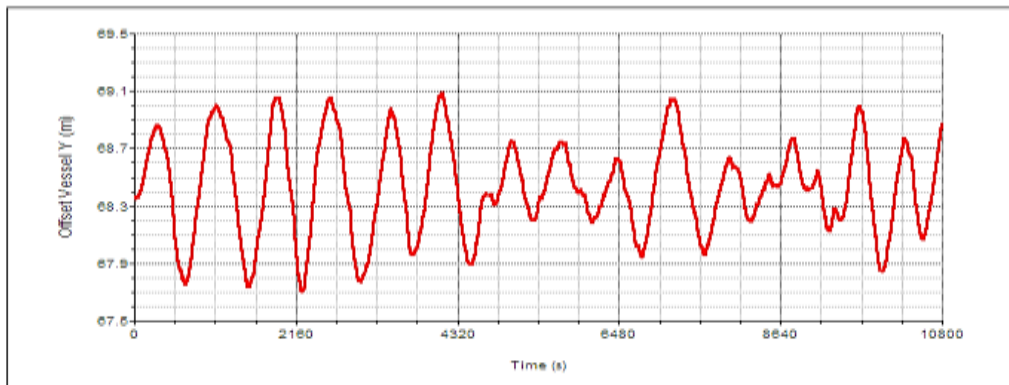
Gambar 4-26 Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 45° - Kondisi ULS Selama 10800 detik : *Mooring Line 4* Skenario I (a), *Mooring Line 6* Skenario II (b), *Mooring Line 8* Skenario III (c)

Pada **Gambar 4-22** menunjukkan rekaman tension yang diambil dalam waktu 0-10800 sec. Pengambilan sampel tension menunjukkan satu fase respon tension terjadi dalam periode rata-rata antara 10-13 detik. Pada **Gambar 4-26**

(a) dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line* 4 skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2149,705 sec. Frekuensi kejadian *tension* terbesar (antara 1030 kN – 1050 kN) hanya terjadi 0,007% dibandingkan dengan keseluruhan kejadian. Sedangkan pada **Gambar 4-26 (b)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line* 6 skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2150,794 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-26 (c)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line* 8 skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2151,388 sec.



(a)



(b)

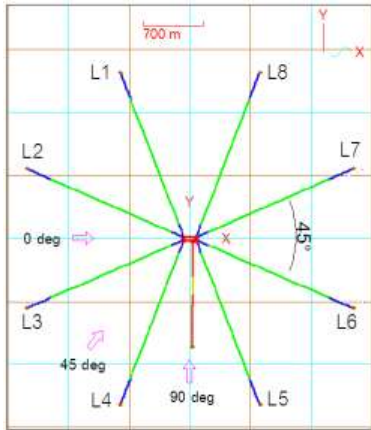
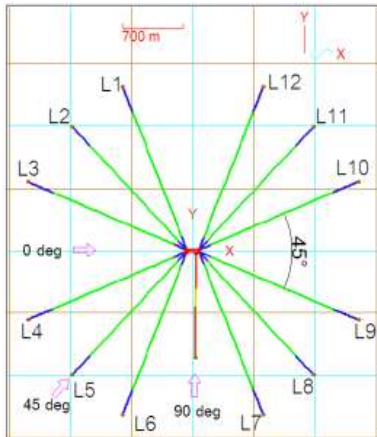
Gambar 4-27 Rekam *Offset Vessel* Skenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 45°-Kondisi ULS : ordinat X (a) , ordinat Y (b)

Pada **Gambar 4-27** menunjukkan pada skenario I, FPU mengalami offset dinamis sebesar 1,47 m pada arah ordinat X dan 1,40 meter pada arah ordinat Y. FPU mengalami *offset* lebih besar dengan sistem *spread mooring* skenario I daripada skenario II dan skenario III. Hal ini dikarenakan pada skenario I jumlah *line* lebih sedikit, sehingga lebih kecil mendapatkan redaman.

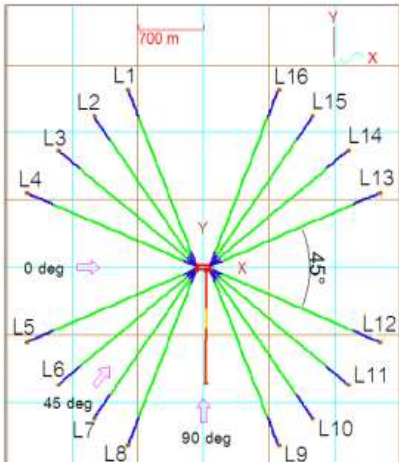
4.6.1.4 Heading 45° ALS

Pada simulasi FPU dengan pembebanan 45° ALS untuk skenario I, skenario II dan skenario III yang telah di modelkan pada *software* OrcaFlex akan disimulasikan dengan berbasis *time domain* selama 10800 detik. Pada simulasi ALS atau *one line damaged* , *mooring line* yang mengalami tension terbesar (pada analisis ULS) diasumsikan putus pada detik ke-1800. Berikut ini adalah rangkuman hasil nilai *maximum mooring tension*, *significant mooring tension*, dan *Offset* FPU pada sistem *spread mooring* skenario I, skenario II dan skenario III dengan arah pembebanan 45° kondisi ALS.

Tabel 4.26A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 45° - ALS

Mooring Tension Result Analysis						
Symmetry 8-lines 45° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	515,748	484,395	6,91	28,99	73,75
	Line 2	679,683	644,475	5,24		
	Line 3	1880,724	1469,826	1,89		
	Line 4	INACTIVE				
	Line 5	1238,096	1025,522	2,88		
	Line 6	628,502	594,030	5,67		
	Line 7	499,345	472,735	7,13		
Line 8	504,029	460,648	7,07			
Symmetry 12-lines 45° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	336,513	318,784	7,00	22,73	55,24
	Line 2	321,170	310,940	7,34		
	Line 3	450,855	431,187	5,23		
	Line 4	1137,521	945,257	2,07		
	Line 5	733,992	640,366	3,21		
	Line 6	INACTIVE				
	Line 7	766,185	671,540	3,08		
	Line 8	376,580	362,339	6,26		
	Line 9	402,430	386,978	5,86		
	Line 10	318,504	305,774	7,40		
	Line 11	275,672	266,406	8,55		
Line 12	318,969	296,964	7,39			

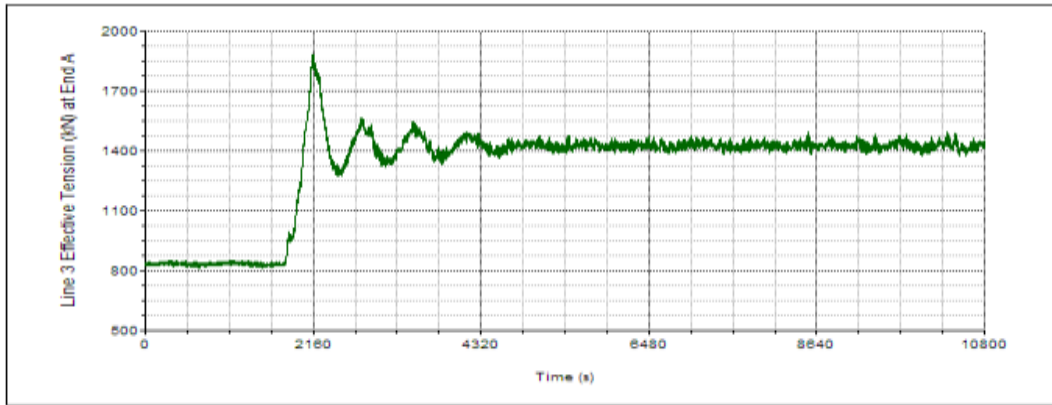
Tabel 4.26B Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 45° - ALS
(lanjutan)

Symmetry 16-lines 45° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	238,367	226,541	7,18	17,96	40,29
	Line 2	221,131	213,403	7,74		
	Line 3	239,638	232,995	7,15		
	Line 4	322,609	310,339	5,31		
	Line 5	722,933	634,354	2,37		
	Line 6	520,503	465,791	3,29		
	Line 7	587,172	519,281	2,92		
	Line 8	INACTIVE				
	Line 9	519,388	469,626	3,30		
	Line 10	288,844	278,212	5,93		
	Line 11	257,964	250,229	6,64		
	Line 12	283,280	274,350	6,05		
	Line 13	221,985	214,783	7,71		
	Line 14	191,250	186,463	8,95		
	Line 15	190,945	185,143	8,97		
	Line 16	219,577	208,304	7,80		

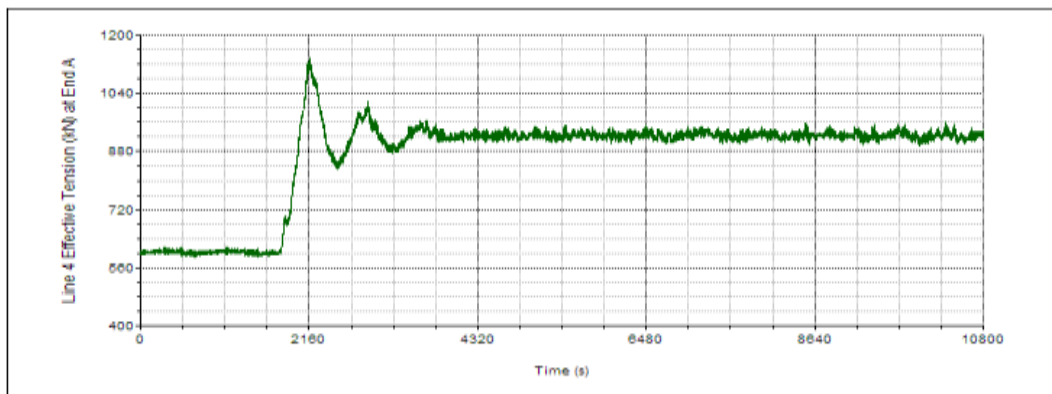
Pada **Tabel 4.26** menunjukkan bahwa pada *heading* 45° kondisi ALS untuk skenario I, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 3 dengan *tension* maksimum sebesar 1880,724 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario I *heading* 45° kondisi ALS, *mooring line* 4 mengalami putus. Sehingga *mooring line* 3 secara signifikan mengalami peningkatan beban yang lebih besar daripada *mooring line* lainnya. Sedangkan untuk skenario II, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 4 dengan *tension* maksimum sebesar 1137,521 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario II *heading* 45° kondisi ALS, *mooring line* 6 mengalami putus. Kemudian untuk skenario III, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 5 dengan *tension* maksimum sebesar 722,933 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario III *heading* 45° kondisi ALS, *mooring line* 8 mengalami putus. Sehingga *mooring line* 5 secara signifikan mengalami peningkatan beban yang lebih besar daripada *mooring line* lainnya.

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang *tension* yang terjadi di setiap detiknya, maka dapat diketahui nilai *tension*

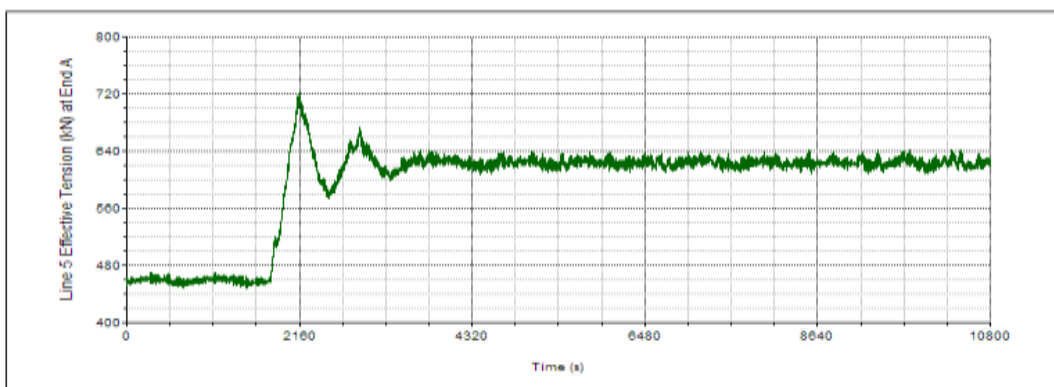
signifikan pada tiap-tiap *mooring line*. Pada **Tabel 4.26** menunjukkan *tension* signifikan untuk skenario I, pada *line 3* sebesar 1469,826 kN, kemudian untuk skenario II, pada *line 4* sebesar 945,257 kN, sedangkan untuk skenario III, pada *line 5* sebesar 634,354 kN.



(a)



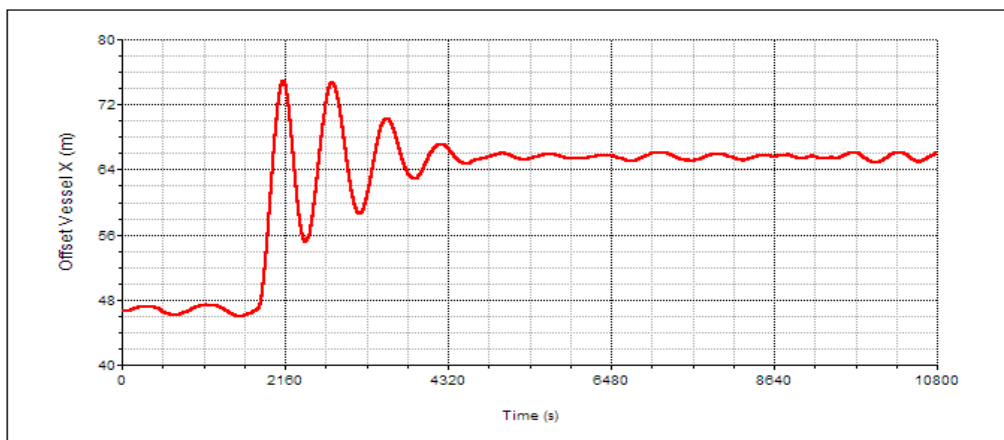
(b)



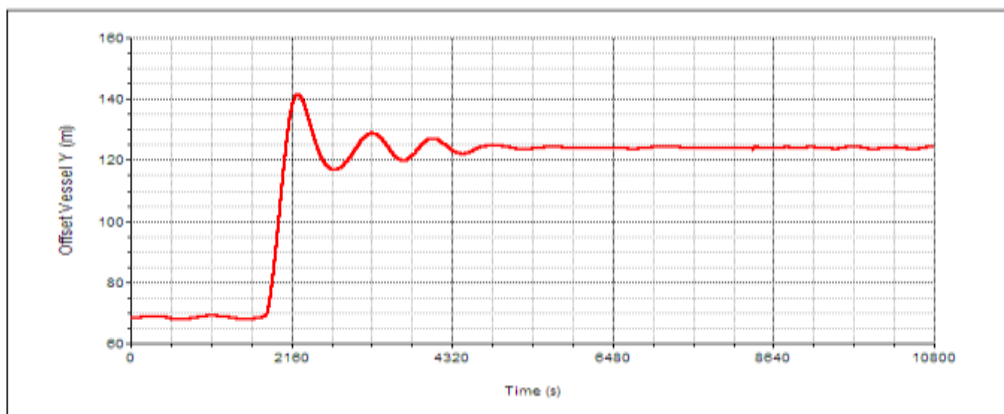
(c)

Gambar 4-28 Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 45° - Kondisi ALS Selama 10800 detik : *Mooring Line 3* Skenario I (a), *Mooring Line 4* Skenario II (b), *Mooring Line 5* Skenario III (c)

Pada **Gambar 4-28** diatas dapat dilihat bahwa ketiga grafik mengalami peningkatan secara signifikan setelah detik ke-1800 (setelah *mooring line* putus). Pada **Gambar 4-28 (a)** menunjukkan grafik rekam *effective tension* pada *mooring line* 3 skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2164,555 sec. Sedangkan pada **Gambar 4-28 (b)** menunjukkan grafik rekam *effective tension* pada *mooring line* 4 skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2164,654 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-28 (c)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line* 5 skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2163,961 sec.



(a)



(b)

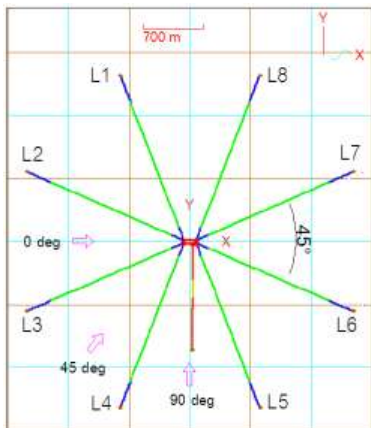
Gambar 4-29 Rekam *Offset Vessel* Scenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 45°-Kondisi ALS : ordinat X (a) , ordinat Y (b)

Pada **Gambar 4-29** menunjukkan pada skenario I, FPU mengalami offset dinamis sebesar 28,99 m pada arah ordinat X dan 73,75 meter pada arah ordinat Y. FPU mengalami *offset* lebih besar dengan sistem *spread mooring* skenario I daripada skenario II dan skenario III. Hal ini dikarenakan pada skenario I jumlah *line* lebih sedikit, sehingga lebih kecil mendapatkan redaman.

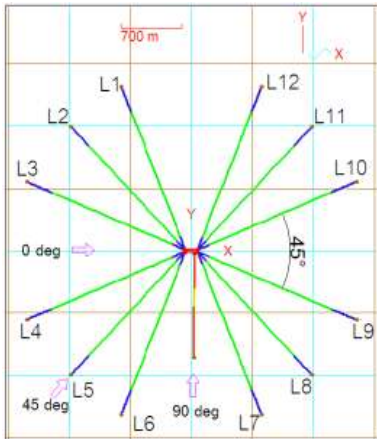
4.6.1.5 Heading 90° ULS

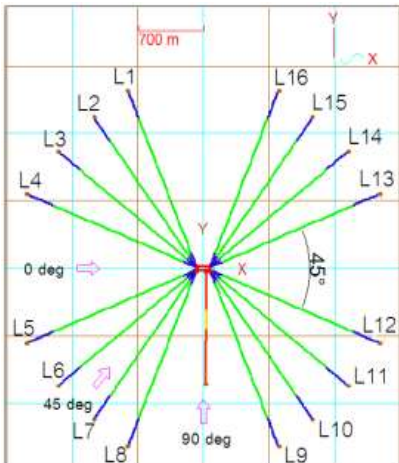
Arah pembebanan 90° merupakan arah *beam seas* berdasarkan orientasi FPU West Seno. Pada simulasi FPU dengan pembebanan 90° ULS untuk skenario I, skenario II dan skenario III yang telah di modelkan pada *software* OrcaFlex akan disimulasikan dengan berbasis *time domain* selama 3 jam (10800 detik). Berikut ini adalah rangkuman hasil nilai *maximum mooring tension*, *significant mooring tension*, dan *Offset* pada FPU pada sistem *spread mooring* skenario I, skenario II dan skenario III dengan arah pembebanan 90° kondisi ULS.

Tabel 4.27A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 90° - ULS

Mooring Tension Result Analysis						
Symmetry 8-lines 90° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	502,724	475,265	7,09	0,68	3,08
	Line 2	591,307	560,461	6,03		
	Line 3	793,656	751,654	4,49		
	Line 4	1188,229	1097,987	3,00		
	Line 5	1021,765	973,726	3,49		
	Line 6	723,740	690,033	4,92		
	Line 7	560,677	531,108	6,35		
	Line 8	511,500	476,293	6,97		

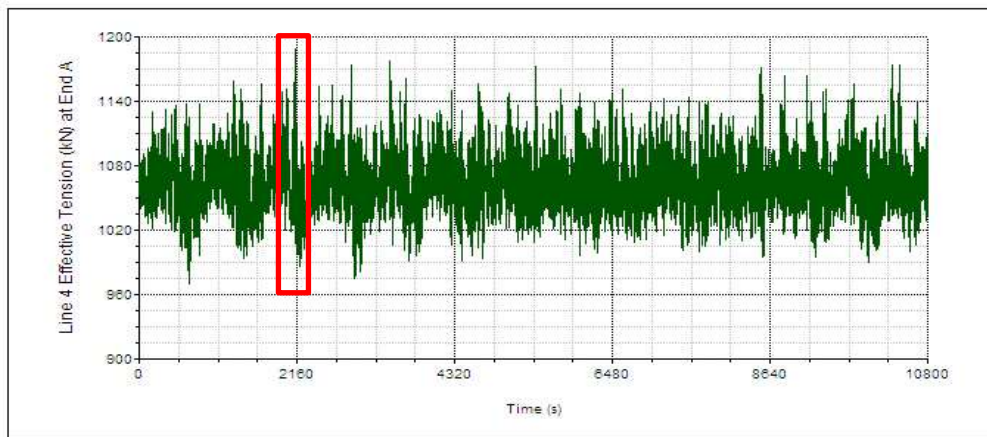
Tabel 4.27B Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 90° - ULS
(lanjutan)

Symmetry 12-lines 90° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	323,269	305,198	7,29	0,64	3,06
	Line 2	305,635	289,195	7,71		
	Line 3	381,698	364,685	6,17		
	Line 4	540,206	513,126	4,36		
	Line 5	482,498	450,384	4,88		
	Line 6	915,268	848,871	2,57		
	Line 7	778,455	744,368	3,03		
	Line 8	428,220	404,478	5,50		
	Line 9	497,829	474,719	4,73		
	Line 10	369,045	347,952	6,39		
	Line 11	298,949	281,641	7,88		
	Line 12	328,715	305,464	7,17		

Symmetry 16-lines 90° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	226,144	212,012	7,57	0,33	3,05
	Line 2	208,975	196,609	8,20		
	Line 3	219,549	207,458	7,80		
	Line 4	270,006	257,249	6,34		
	Line 5	395,526	375,596	4,33		
	Line 6	357,025	333,883	4,80		
	Line 7	397,535	366,844	4,31		
	Line 8	728,311	676,886	2,35		
	Line 9	618,055	592,539	2,77		
	Line 10	340,183	320,015	5,03		
	Line 11	312,670	295,762	5,48		
	Line 12	367,620	351,104	4,66		
	Line 13	262,554	247,211	6,52		
	Line 14	213,030	201,372	8,04		
	Line 15	206,350	193,595	8,30		
	Line 16	231,761	213,414	7,39		

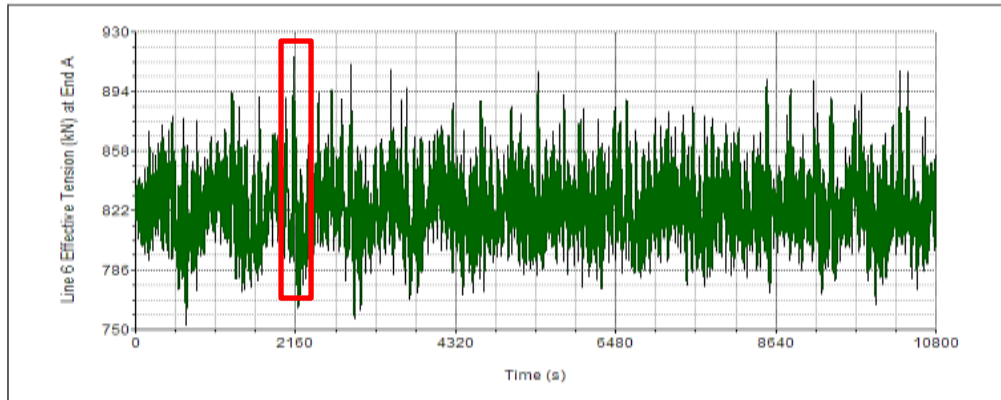
Pada **Tabel 4.27** menunjukkan bahwa pada *heading* 90° kondisi ULS untuk skenario I, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 4 dengan *tension* maksimum sebesar 1188,229 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario I *heading* 90° berhadapan langsung dengan *line* 4 dan *line* 5. Sehingga lebih banyak menerima beban daripada *mooring line* lainnya. Sedangkan untuk skenario II, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 6 dengan *tension* maksimum sebesar 915,268 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario II *heading* 90° berhadapan langsung dengan *line* 6 dan *line* 7. Kemudian untuk skenario III, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 8 dengan *tension* maksimum sebesar 728,311 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario III *heading* 90° berhadapan langsung dengan *line* 8 dan *line* 9.

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang *tension* yang terjadi di setiap detiknya, maka dapat diketahui nilai *tension* signifikan pada tiap-tiap *mooring line*. Pada **Tabel 4.27** menunjukkan *tension* signifikan untuk skenario I, pada *line* 4 sebesar 1097,987, kemudian untuk skenario II, pada *line* 6 sebesar 848,871 kN, sedangkan untuk skenario III, pada *line* 8 sebesar 676,886 kN.

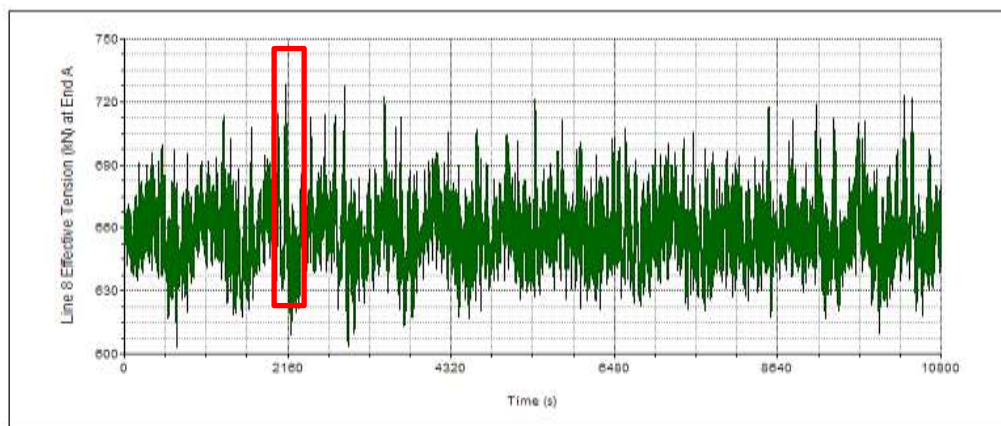


(a)

Gambar 4-30A Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ULS Selama 10800 detik : *Mooring Line* 4 Skenario I (a), *Mooring Line* 6 Skenario II (b), *Mooring Line* 8 Skenario III (c)



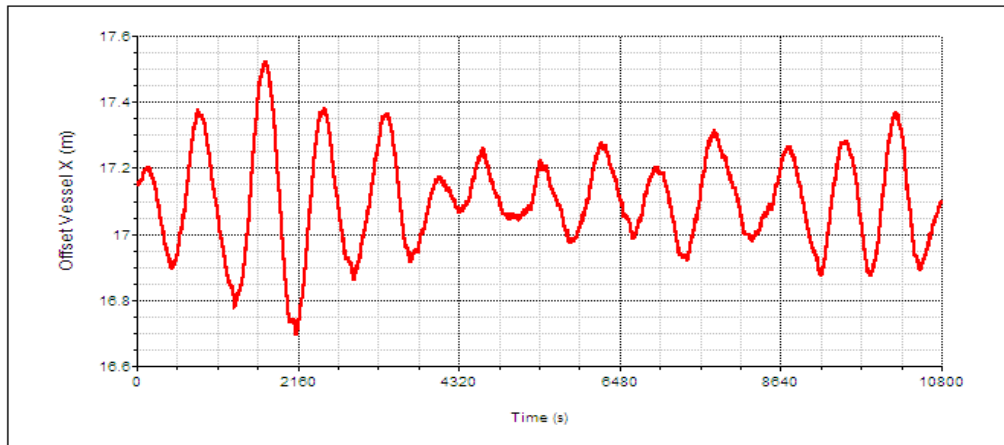
(b)



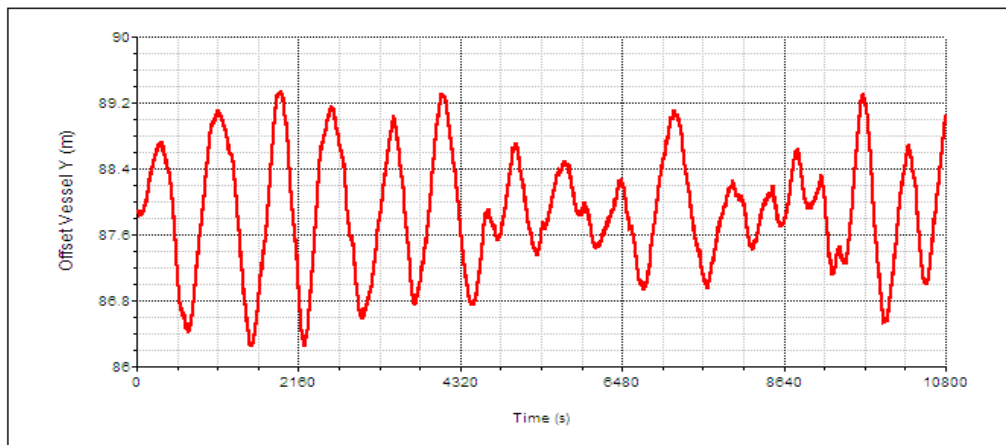
(c)

Gambar 4-30B Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ULS Selama 10800 detik : *Mooring Line 4* Skenario I (a), *Mooring Line 6* Skenario II (b), *Mooring Line 8* Skenario III (c) (lanjutan)

Pada **Gambar 4-22** menunjukkan rekaman tension yang diambil dalam waktu 0-10800 sec. Pengambilan sampel tension menunjukkan satu fase respon tension terjadi dalam periode rata-rata antara 7-10 detik. Pada **Gambar 4-30 (a)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 4* skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2135,548 sec. Frekuensi kejadian *tension* terbesar (antara 1130 kN – 1200 kN) hanya terjadi 0,02% dibandingkan dengan keseluruhan kejadian. Sedangkan pada **Gambar 4-30 (b)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 6* skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2136,835 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-30 (c)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 8* skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2137,726 sec.



(a)



(b)

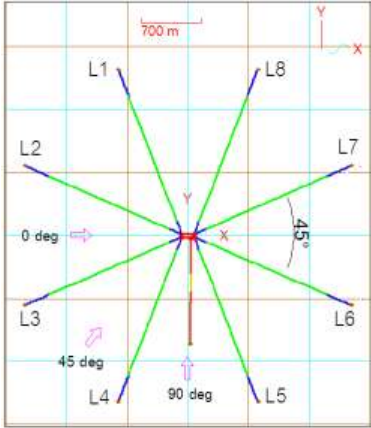
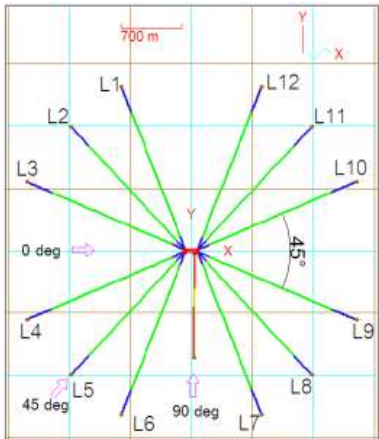
Gambar 4-31 Rekam *Offset Vessel* Scenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ULS : ordinat X (a) , ordinat Y (b)

Pada **Gambar 4-31** menunjukkan pada skenario I, FPU mengalami *offset* dinamis sebesar 0,68 m pada arah ordinat X dan 3,08 meter pada arah ordinat Y. FPU mengalami *offset* lebih besar dengan sistem *spread mooring* skenario I daripada skenario II dan skenario III. Hal ini dikarenakan pada skenario I jumlah *line* lebih sedikit yaitu *8-lines*, sehingga lebih kecil mendapatkan redaman dari pada *12-lines* dan *16-lines*.

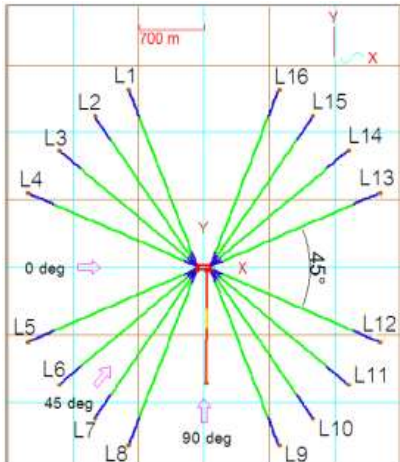
4.6.1.6 Heading 90° ALS

Pada simulasi FPU dengan pembebanan 90° ALS untuk skenario I, skenario II dan skenario III yang telah di modelkan pada *software* OrcaFlex akan disimulasikan dengan berbasis *time domain* selama tiga jam. Pada simulasi ALS atau *one line damaged, mooring line* yang mengalami tension terbesar (pada analisis ULS) diasumsikan putus pada detik ke-1800. Berikut ini adalah rangkuman hasil nilai *maximum mooring tension*, *significant mooring tension*, dan *Offset* FPU pada sistem *spread mooring* skenario I, skenario II dan skenario III dengan arah pembebanan 90° kondisi ALS.

Tabel 4.28A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 90° - ALS

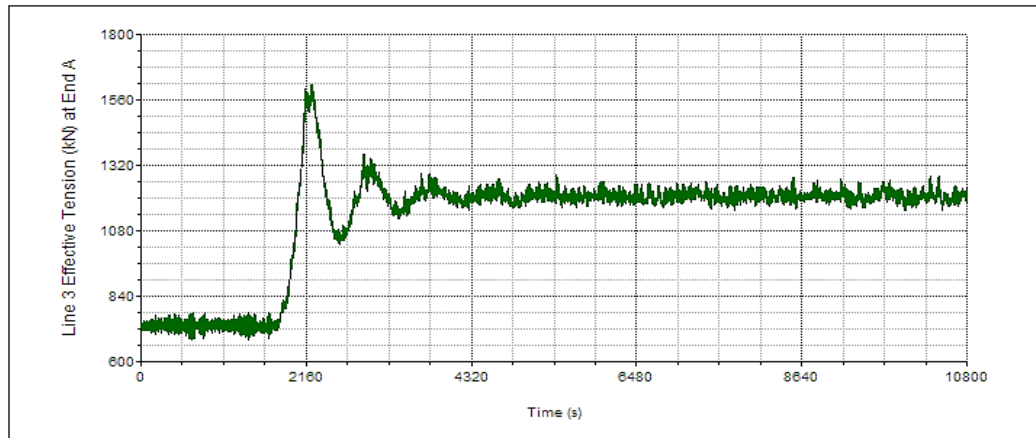
Mooring Tension Result Analysis						
Symmetry 8-lines 90° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	502,724	454,704	7,09	46,48	59,98
	Line 2	623,247	587,986	5,72		
	Line 3	1616,056	1251,915	2,20		
	Line 4	INACTIVE				
	Line 5	1396,194	1214,401	2,55		
	Line 6	723,740	668,892	4,92		
	Line 7	555,403	502,864	6,41		
Line 8	506,807	454,203	7,03			
Symmetry 12-lines 90° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	322,575	294,930	7,31	35,03	46,64
	Line 2	305,635	286,275	7,71		
	Line 3	401,736	380,706	5,87		
	Line 4	930,858	769,002	2,53		
	Line 5	737,196	613,427	3,20		
	Line 6	INACTIVE				
	Line 7	1008,911	893,868	2,34		
	Line 8	428,220	405,914	5,50		
	Line 9	497,829	459,553	4,73		
	Line 10	366,165	331,693	6,44		
	Line 11	296,661	273,281	7,94		
Line 12	326,127	293,813	7,23			

Tabel 4.28B Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 90° - ALS
(lanjutan)

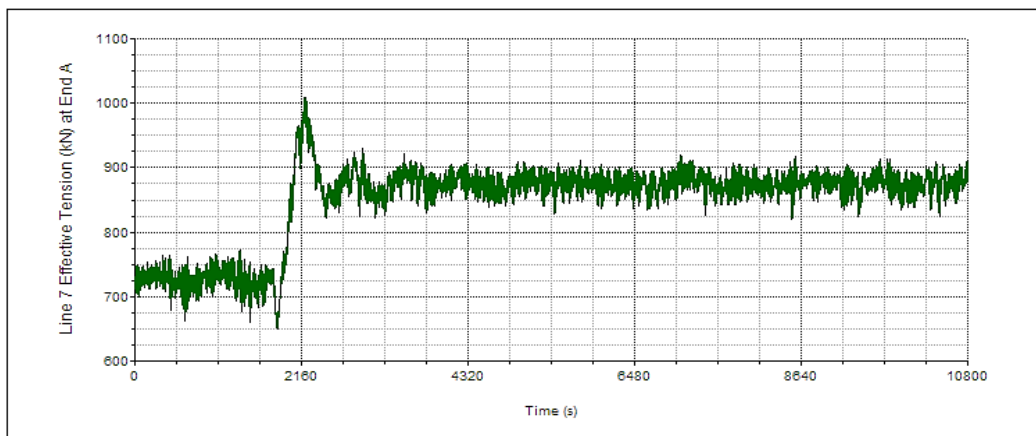
Symmetry 16-lines 90° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	226,144	206,906	7,57	25,09	34,91
	Line 2	208,975	193,861	8,20		
	Line 3	219,549	207,647	7,80		
	Line 4	279,956	265,815	6,12		
	Line 5	576,834	499,224	2,97		
	Line 6	494,619	424,918	3,46		
	Line 7	616,501	513,725	2,78		
	Line 8	INACTIVE				
	Line 9	762,174	687,293	2,25		
	Line 10	341,806	324,982	5,01		
	Line 11	312,670	293,673	5,48		
	Line 12	367,620	993,980	4,66		
	Line 13	261,006	237,317	6,56		
	Line 14	212,432	195,562	8,06		
	Line 15	205,835	188,894	8,32		
	Line 16	228,600	206,507	7,49		

Pada **Tabel 4.28** menunjukkan bahwa pada *heading* 90° kondisi ALS untuk skenario I, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 3 dengan *tension* maksimum sebesar 1616,056 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario I *heading* 90° kondisi ALS, *mooring line* 4 mengalami putus. Sehingga *mooring line* 3 secara signifikan mengalami peningkatan beban yang lebih besar daripada *mooring line* lainnya. Sedangkan untuk skenario II, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 7 dengan *tension* maksimum sebesar 1008,911 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario II *heading* 90° kondisi ALS, *mooring line* 6 mengalami putus. Kemudian untuk skenario III, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 9 dengan *tension* maksimum sebesar 762,174 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario III *heading* 90° kondisi ALS, *mooring line* 8 mengalami putus. Sehingga *mooring line* 9 secara signifikan mengalami peningkatan beban yang lebih besar daripada *mooring line* lainnya.

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang *tension* yang terjadi di setiap detiknya, maka dapat diketahui nilai *tension* signifikan pada tiap-tiap *mooring line*. Pada **Tabel 4.28** menunjukkan *tension* signifikan untuk skenario I, pada *line 3* sebesar 1251,915 kN, kemudian untuk skenario II, pada *line 7* sebesar 893,868 kN, sedangkan untuk skenario III, pada *line 9* sebesar 687,293 kN.

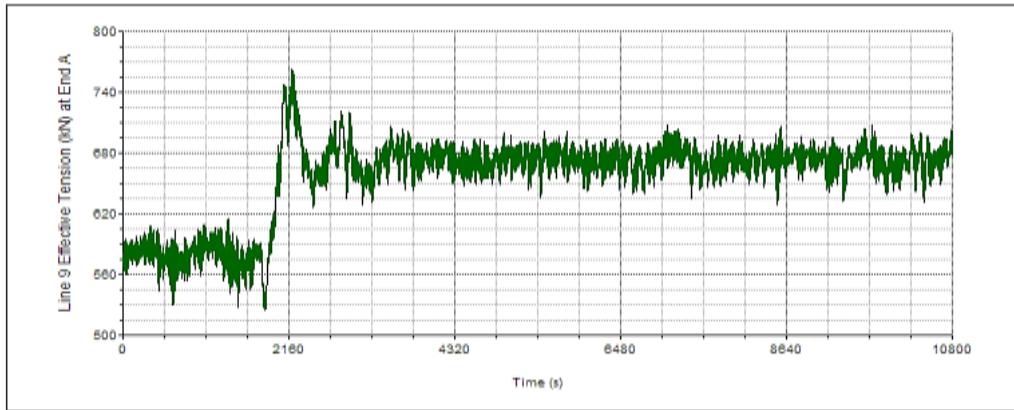


(a)



(b)

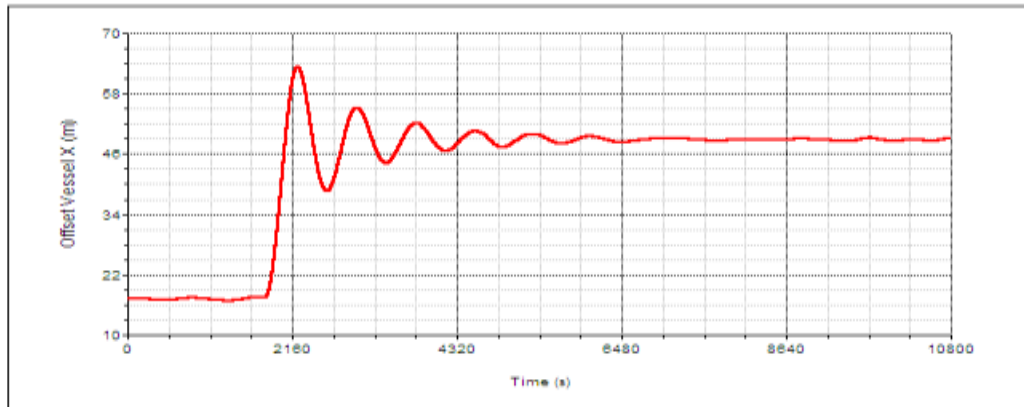
Gambar 4-32A Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ALS Selama 10800 detik : *Mooring Line 3* Skenario I (a), *Mooring Line 7* Skenario II (b), *Mooring Line 9* Skenario III (c)



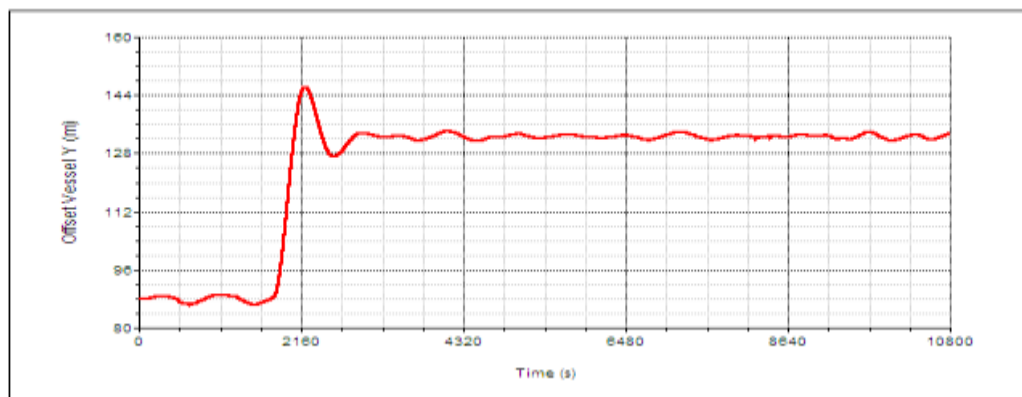
(c)

Gambar 4-32B Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ALS Selama 10800 detik : *Mooring Line 3* Skenario I (a), *Mooring Line 7* Skenario II (b), *Mooring Line 9* Skenario III (c) (lanjutan)

Pada **Gambar 4-32** diatas dapat dilihat bahwa ketiga grafik mengalami peningkatan secara signifikan setelah detik ke-1800 (setelah *mooring line* putus). Pada **Gambar 4-32 (a)** menunjukkan grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 3* skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2238,112 sec. Sedangkan pada **Gambar 4-32 (b)** menunjukkan grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 7* skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2198,017 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-32 (c)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 9* skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2197,918 sec.



(a)



(b)

Gambar 4-33 Rekam *Offset Vessel* Scenario I Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 90°- Kondisi ALS : ordinat X (a) , ordinat Y (b)

Pada **Gambar 4-33** menunjukkan pada skenario I, FPU mengalami offset dinamis sebesar 46,48 m pada arah ordinat X dan 59,98 meter pada arah ordinat Y. FPU mengalami *offset* lebih besar dengan sistem *spread mooring* skenario I daripada skenario II dan skenario III. Hal ini dikarenakan pada skenario I jumlah *line* lebih sedikit, sehingga lebih kecil mendapatkan redaman.

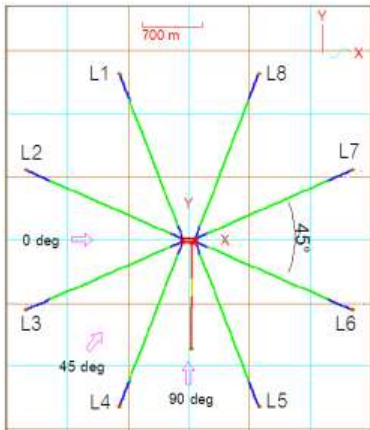
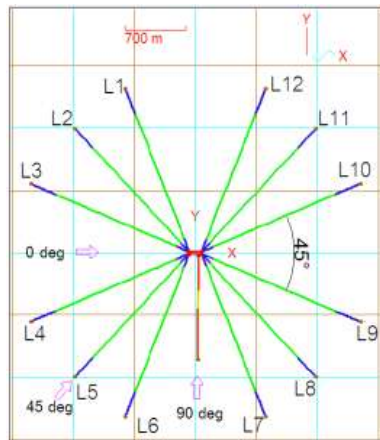
4.6.2 Kondisi *Minimum Draft* (T = 5,19 m)

Dalam analisis *mooring tension* dan *offset* FPU kondisi *minimum draft*, yang ditinjau hanya pada heading 90° saja (yang mengalami *tension* terbesar). Untuk analisis pada heading 0° dan 45° tidak dilakukan.

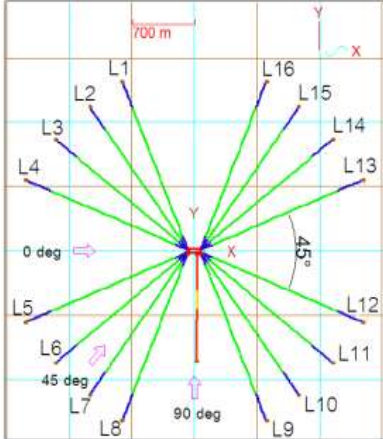
4.6.2.1 Heading 90° ULS

. Pada simulasi FPU dengan pembebanan 90° ULS kondisi *minimum draft* dilakukan analisis yang sama seperti pada kondisi *maximum draft* yaitu skenario I, skenario II dan skenario III disimulasikan dengan berbasis *time domain* selama 3 jam (10800 detik). Berikut ini adalah rangkuman hasil nilai *maximum mooring tension*, *significant mooring tension*, dan *offset* pada FPU pada sistem *spread mooring* skenario I, skenario II dan skenario III dengan arah pembebanan 90° ULS kondisi *minimum draft*.

Tabel 4.29A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 90° - ULS

Mooring Tension Result Analysis						
Symmetry 8-lines 90° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	493,408	475,242	7,22	0,83	3,12
	Line 2	575,519	557,203	6,19		
	Line 3	804,259	748,846	4,43		
	Line 4	1125,360	1052,166	3,17		
	Line 5	996,117	960,900	3,58		
	Line 6	715,325	688,541	4,98		
	Line 7	577,865	540,053	6,17		
Line 8	522,750	483,229	6,82			
Symmetry 12-lines 90° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	494,963	478,153	4,76	0,56	2,47
	Line 2	455,896	443,363	5,17		
	Line 3	572,416	554,156	4,12		
	Line 4	781,181	729,082	3,02		
	Line 5	682,279	635,124	3,45		
	Line 6	1060,212	988,825	2,22		
	Line 7	969,647	938,359	2,43		
	Line 8	601,172	580,757	3,92		
	Line 9	718,650	692,831	3,28		
	Line 10	586,969	547,901	4,02		
	Line 11	472,402	441,909	4,99		
Line 12	530,641	488,392	4,44			

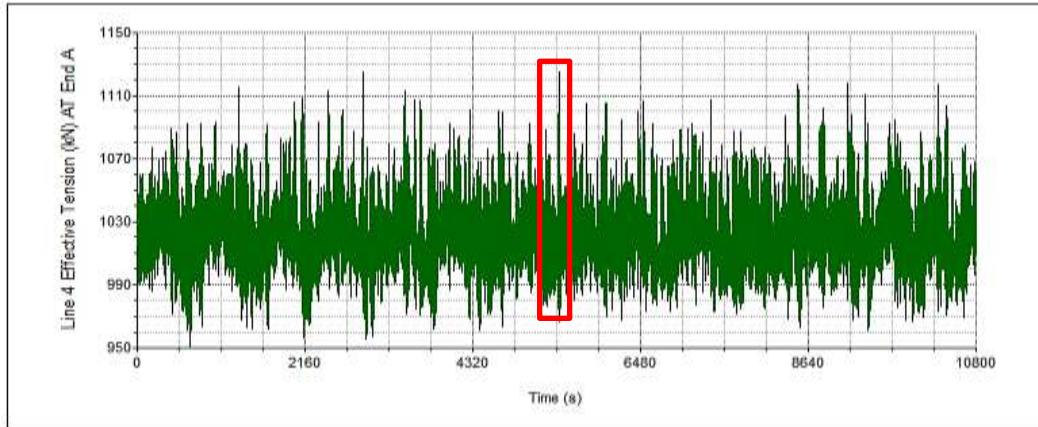
Tabel 4.29B Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 90° - ULS
(lanjutan)

Symmetry 16-lines 90° ULS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	500,910	483,365	3,42	0,48	2,21
	Line 2	450,522	436,690	3,80		
	Line 3	468,914	454,905	3,65		
	Line 4	571,920	553,231	2,99		
	Line 5	763,069	711,590	2,24		
	Line 6	670,707	625,467	2,55		
	Line 7	705,908	654,495	2,43		
	Line 8	993,914	924,388	1,72		
	Line 9	929,947	901,592	1,84		
	Line 10	624,738	604,197	2,74		
	Line 11	596,114	576,840	2,87		
	Line 12	716,677	692,547	2,39		
	Line 13	595,667	554,983	2,88		
	Line 14	480,324	451,624	3,57		
	Line 15	465,487	438,384	3,68		
	Line 16	530,867	494,716	3,23		

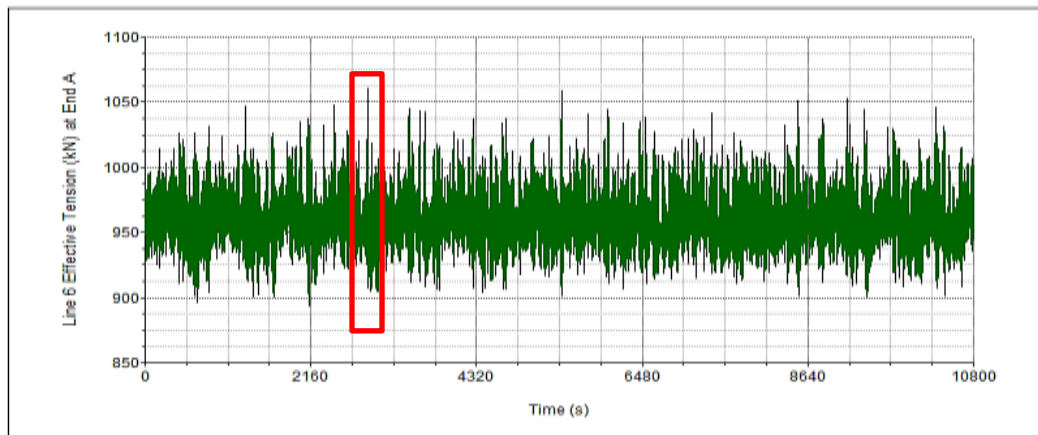
Pada **Tabel 4.29** menunjukkan bahwa pada *heading* 90° kondisi ULS untuk skenario I, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 4 dengan *tension* maksimum sebesar 1125,360 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario I *heading* 90° berhadapan langsung dengan *line* 4 dan *line* 5. Sehingga lebih banyak menerima beban daripada *mooring line* lainnya. Sedangkan untuk skenario II, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 6 dengan *tension* maksimum sebesar 1060,212 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario II *heading* 90° berhadapan langsung dengan *line* 6 dan *line* 7. Kemudian untuk skenario III, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 8 dengan *tension* maksimum sebesar 993,914 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario III *heading* 90° berhadapan langsung dengan *line* 8 dan *line* 9. Hasil *maximum tension* pada kondisi *minimum draft* arah pembebanan 90 ° ULS lebih besar untuk skenario II dan skenario III jika dibandingkan dengan kondisi *maximum draft*.

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data*, maka dapat diketahui nilai *tension* signifikan pada tiap-tiap *mooring line*. Pada **Tabel 4.29**

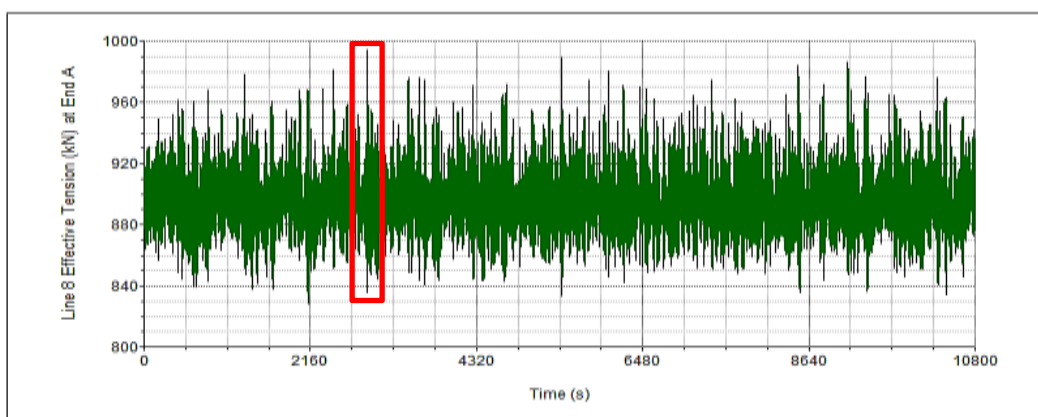
menunjukkan *tension* signifikan untuk skenario I, pada *line* 4 sebesar 988,825, kemudian untuk skenario II, pada *line* 6 sebesar 988,825 kN, sedangkan untuk skenario III, pada *line* 8 sebesar 924,388 kN.



(a)



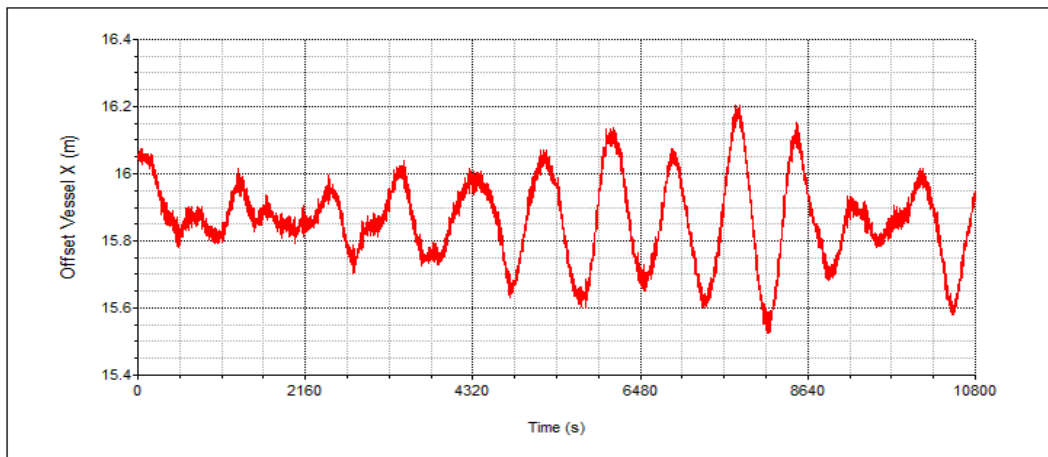
(b)



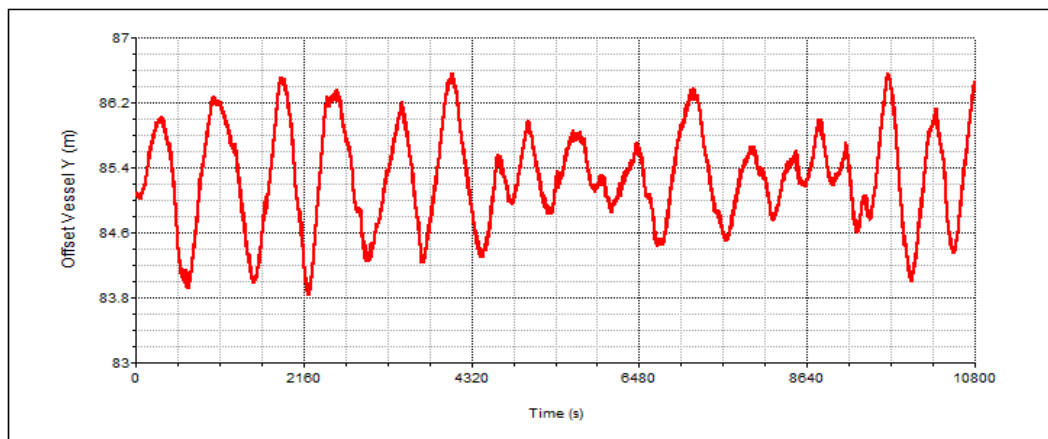
(c)

Gambar 4-34 Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ULS (*minimum draft*) Selama 10800 detik : *Mooring Line* 4 Skenario I (a), *Mooring Line* 6 Skenario II (b), *Mooring Line* 8 Skenario III (c)

Pada **Gambar 4-34 (a)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 4* skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-5427,892 sec. Sedangkan pada **Gambar 4-34 (b)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 6* skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2902,204 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-34 (c)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 8* skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2901,61 sec.



(a)



(b)

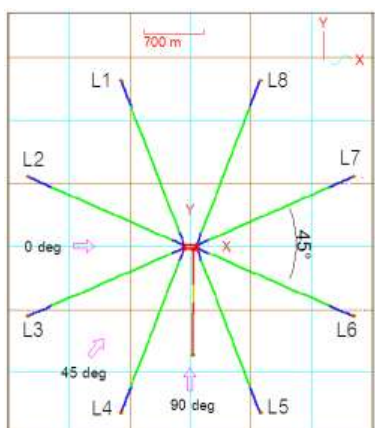
Gambar 4-35 Rekam *Offset Vessel* Scenario I (*minimum draft*) Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 90°- Kondisi ULS : ordinat X (a) , ordinat Y (b)

Pada **Gambar 4-35** menunjukkan pada skenario I, FPU mengalami *offset* dinamis sebesar 0,83 m pada arah ordinat X dan 3,12 meter pada arah ordinat Y. FPU mengalami *offset* lebih besar dengan sistem *spread mooring* skenario I daripada skenario II dan skenario III. Hal ini dikarenakan pada skenario I jumlah *line* lebih sedikit, sehingga lebih kecil mendapatkan redaman. Jika dibandingkan dengan kondisi *maximum draft*, maka FPU mengalami *offset* yang lebih besar pada saat kondisi *minimum draft*. Selain itu FPU lebih tidak stabil dibuktikan dengan pergerakan grafik *offset* yang lebih kasar.

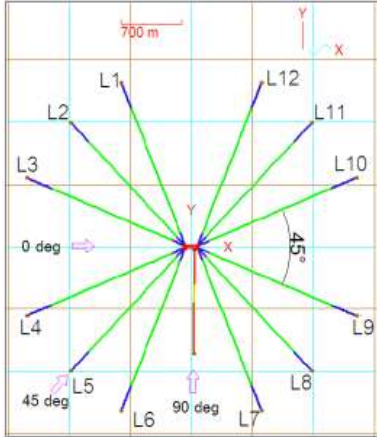
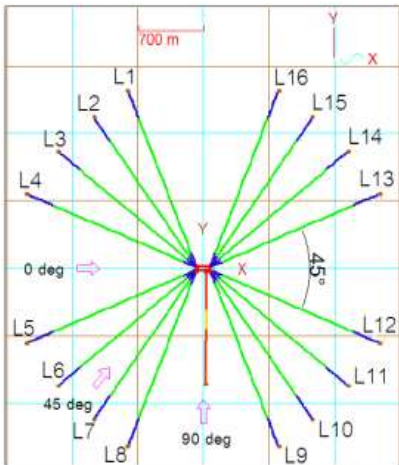
4.6.2.2 Heading 90° ALS

Pada simulasi FPU dengan pembebanan 90° ALS untuk skenario I kondisi *minimum draft* dilakukan analisis yang sama seperti pada kondisi *maximum draft* yaitu, *mooring line* yang mengalami tension terbesar (pada analisis ULS) diasumsikan putus pada detik ke-1800. Berikut ini adalah rangkuman hasil nilai *maximum mooring tension*, *significant mooring tension*, dan *offset* FPU pada sistem *spread mooring* skenario I, skenario II dan skenario III dengan arah pembebanan 90° ALS kondisi *minimum draft*.

Tabel 4.30A Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 90° - ALS

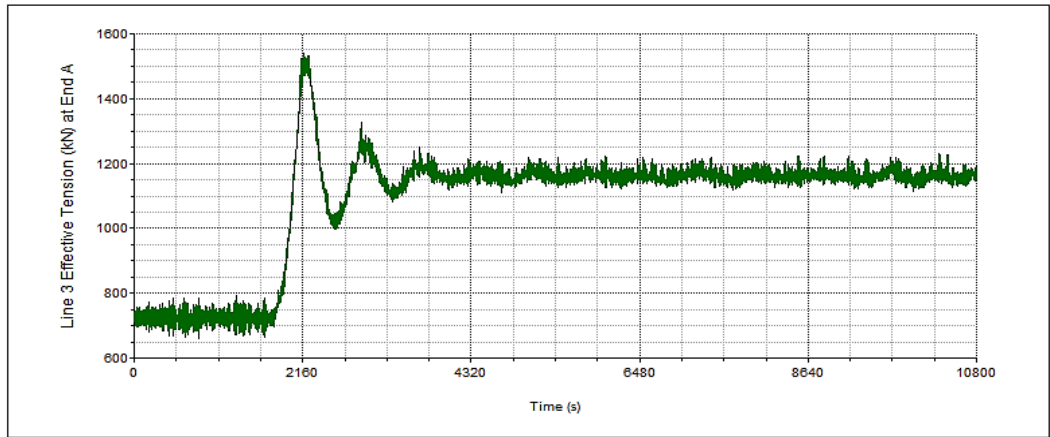
Mooring Tension Result Analysis						
Symmetry 8-lines 90° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
	X (M)	Y (M)	45,75	60,43		
	Line 1	490,180			456,252	7,27
	Line 2	612,459			584,154	5,82
	Line 3	1538,827			1204,877	2,32
	Line 4	INACTIVE				
	Line 5	1373,624			1200,716	2,59
	Line 6	709,173			669,705	5,02
	Line 7	569,301			507,143	6,26
	Line 8	515,347	457,340	6,91		

Tabel 4.30B Ringkasan Hasil *Mooring Tension* dan *Offset* FPU pada Heading 90° - ALS
(lanjutan)

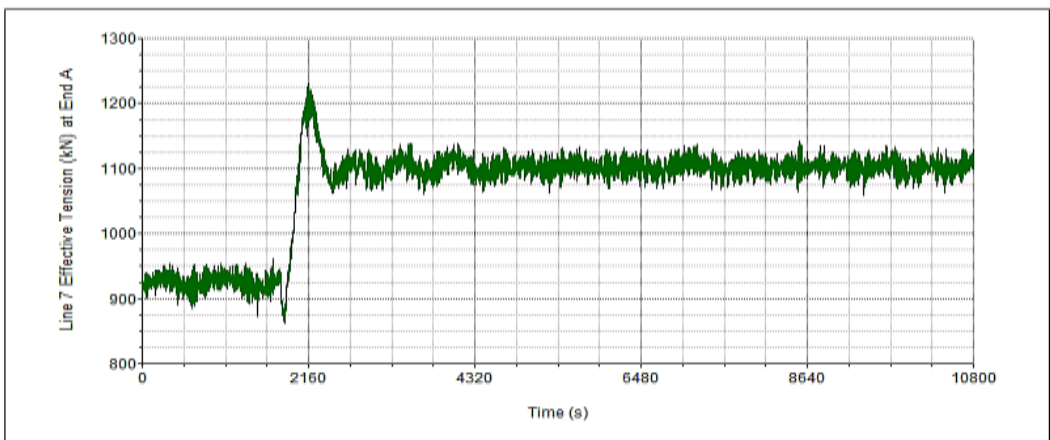
Symmetry 12-lines 90° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	492,738	462,156	4,78	40,65	46,68
	Line 2	454,679	438,613	5,18		
	Line 3	595,874	571,469	3,96		
	Line 4	1136,208	960,703	2,07		
	Line 5	905,078	782,762	2,60		
	Line 6	INACTIVE				
	Line 7	1231,836	1118,103	1,91		
	Line 8	605,498	587,297	3,89		
	Line 9	713,499	676,952	3,30		
	Line 10	577,852	518,456	4,08		
	Line 11	465,567	425,724	5,06		
	Line 12	523,750	466,012	4,50		
Symmetry 16-lines 90° ALS						
	LINE	Max Tension (kN)	Sign. Tension (kN)	SF	Offset	
					X (M)	Y (M)
	Line 1	499,910	470,340	3,43	31,81	35,18
	Line 2	448,961	429,898	3,81		
	Line 3	466,518	452,441	3,67		
	Line 4	584,784	563,803	2,93		
	Line 5	944,109	833,411	1,81		
	Line 6	804,681	714,744	2,13		
	Line 7	878,124	774,534	1,95		
	Line 8	INACTIVE				
	Line 9	1103,090	1024,658	1,55		
	Line 10	644,694	618,739	2,66		
	Line 11	595,079	578,671	2,88		
	Line 12	714,114	680,717	2,40		
	Line 13	587,178	530,816	2,92		
	Line 14	474,876	437,127	3,61		
	Line 15	460,295	425,289	3,72		
	Line 16	525,510	475,323	3,26		

Pada **Tabel 4.30** menunjukkan bahwa pada *heading* 90° kondisi ALS untuk skenario I, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 3 dengan *tension* maksimum sebesar 1538,827 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario I *heading* 90° kondisi ALS, *mooring line* 4 mengalami putus. Sehingga *mooring line* 3 secara signifikan mengalami peningkatan beban yang lebih besar daripada *mooring line* lainnya. Sedangkan untuk skenario II, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 7 dengan *tension* maksimum sebesar 1231,836 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario II *heading* 90° kondisi ALS, *mooring line* 6 mengalami putus. Kemudian untuk skenario III, *tension* maksimum terjadi pada *mooring line* 9 dengan *tension* maksimum sebesar 1103,090 kN. Hal ini dikarenakan pada skenario III *heading* 90° kondisi ALS, *mooring line* 8 mengalami putus. Sehingga *mooring line* 9 secara signifikan mengalami peningkatan beban yang lebih besar daripada *mooring line* lainnya. Hasil *maximum tension* pada kondisi *minimum draft* arah pembebanan 90 ° ALS lebih besar untuk skenario II dan skenario III jika dibandingkan dengan kondisi *maximum draft*.

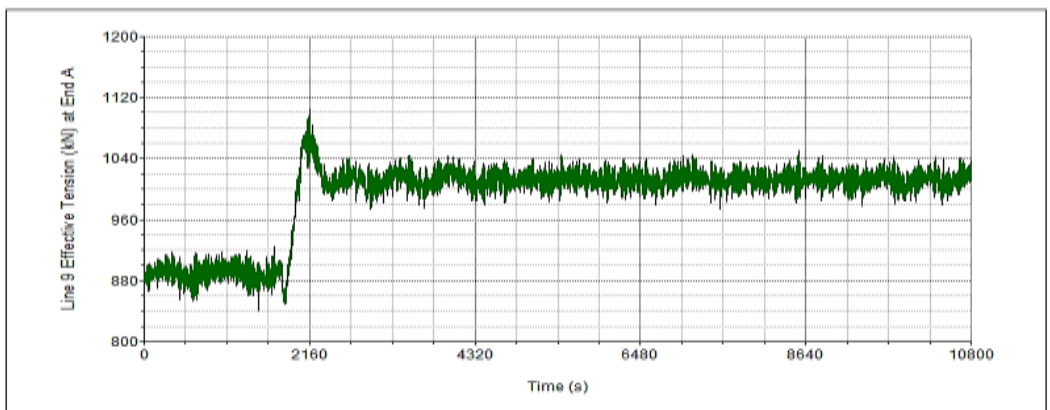
Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang *tension* yang terjadi di setiap detikanya, maka dapat diketahui nilai *tension* signifikan pada tiap-tiap *mooring line*. Pada **Tabel 4.30** menunjukkan *tension* signifikan untuk skenario I, pada *line* 3 sebesar 1204,877 kN, kemudian untuk skenario II, pada *line* 7 sebesar 1118,103 kN, sedangkan untuk skenario III, pada *line* 9 sebesar 1024,658 kN.



(a)



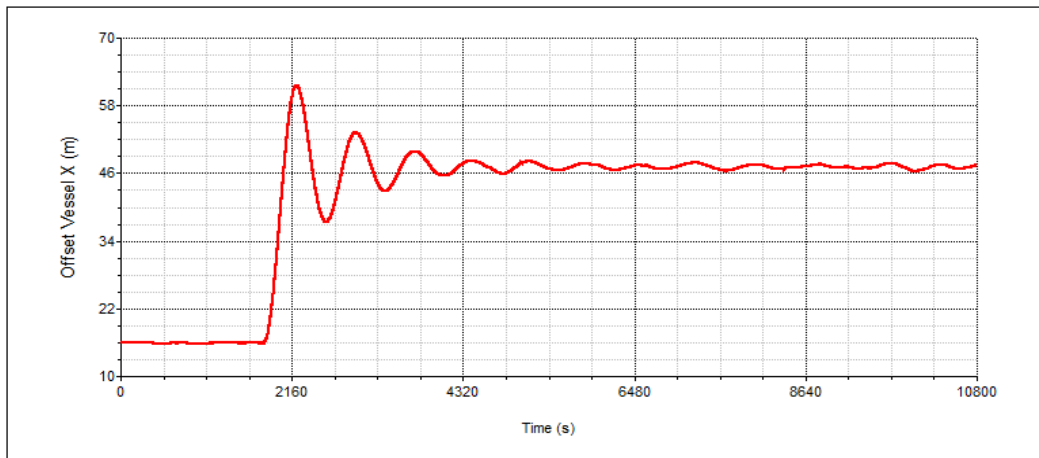
(b)



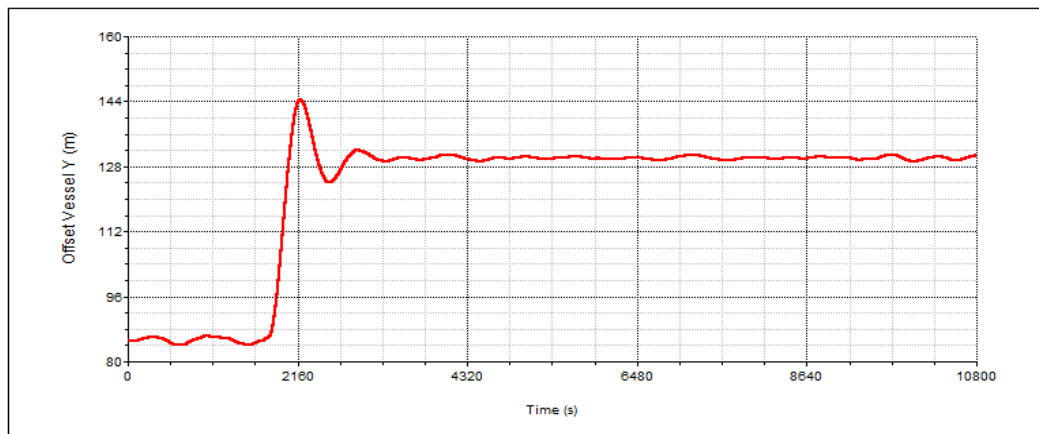
(c)

Gambar 4-36 Rekam *Effective Tension* pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ALS (*minimum draft*) Selama 10800 detik : *Mooring Line 3* Skenario I (a), *Mooring Line 7* Skenario II (b), *Mooring Line 9* Skenario III (c)

Pada **Gambar 4-36 (a)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 3* skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2178,217 sec. Sedangkan pada **Gambar 4-36 (b)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 7* skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2159,902 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-36 (c)** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *mooring line 9* skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-2158,417 sec.



(a)



(b)

Gambar 4-37 Rekam *Offset Vessel* Skenario I (*minimum draft*) Selama 10800 detik pada Arah Pembebanan 90°- Kondisi ALS : ordinat X (a) , ordinat Y (b)

Pada **Gambar 4-37** menunjukkan pada skenario I kondisi *minimum draft*, FPU mengalami *offset* dinamis sebesar 45,75 m pada arah ordinat X dan 60,43 meter pada arah ordinat Y. FPU mengalami *offset* lebih besar dengan sistem *spread mooring* skenario I daripada skenario II dan skenario III. Hal ini dikarenakan pada skenario I jumlah *line* lebih sedikit, sehingga lebih kecil mendapatkan redaman.

4.7 ANALISIS MAXIMUM TENSION DAN MBR (MINIMUM BENDING RADIUS) PADA FLEXIBLE RISER

Analisis *maximum tension* dan MBR (*Minimum Bending Radius*) pada *flexible riser* menggunakan software OrcaFlex. Analisis dilakukan dengan metode *Time-Domain* yang masing-masing disimulasikan selama tiga jam (10800 detik). Analisis bertujuan untuk mengetahui kondisi *riser* akibat pengaruh dari variasi sistem *spread mooring* berdasarkan skenario jumlah *mooring line* dan variasi arah pembebanan yang telah dilakukan.

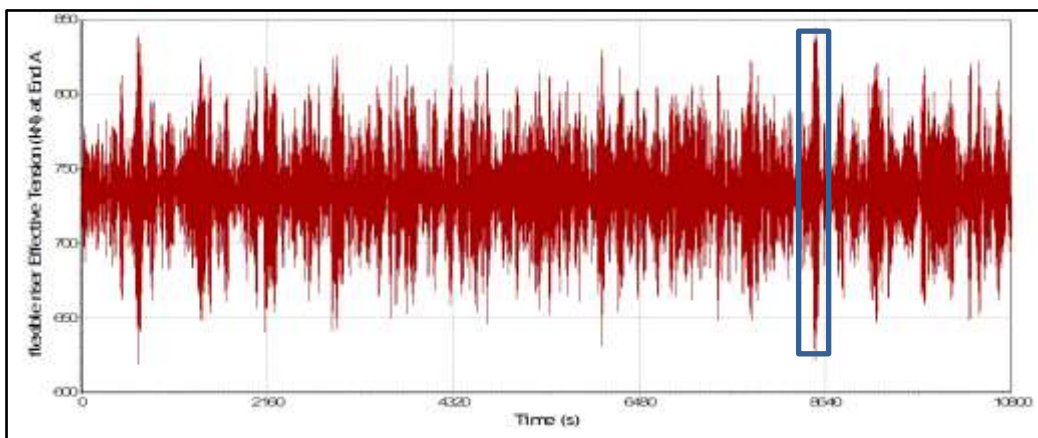
Dalam analisis *flexible riser*, *minimum bending radius* hasil modeling (baik *operating* maupun *abnormal*) dan *maximum tension* harus memenuhi kriteria batas yang diperbolehkan. Berdasarkan API 17 J *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Floating Production System*, maka telah ditentukan kriteria *safety factor* dalam desain *flexible riser* pada *vessel* dengan kondisi *ballast* maupun muatan penuh sebagai berikut :

- $MBR > 1,5 \times MBR_{storage}, for\ operating\ condition$
- $MBR > 1,25 \times MBR_{storage}, for\ abnormal\ condition$
- $Maximum\ tension < Failure\ tension$
- $Minimum\ tension < Maximum\ allowed\ compression$

Pada analisis Tugas Akhir ini, telah ditentukan batas kriteria MBR *flexible riser* adalah 3,675 meter, dan kriteria *failure tension* adalah 1884 kN.

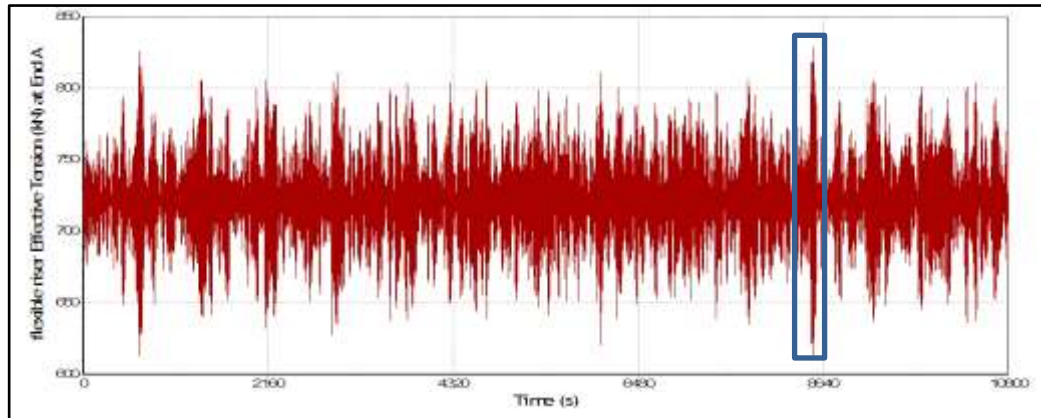
4.7.1 Analisis *Maximum Tension* pada *Flexible Riser*

Pada **Gambar 4-38** dapat dilihat grafik rekam *effective tension* pada *flexible riser* selama 10800 sec. Pada **Gambar 4-38 (a)** menunjukkan grafik rekam *riser tension* pada heading 90° skenario I, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-8522,434 sec. Sedangkan pada **Gambar 4-38 (b)** menunjukkan grafik rekam *riser tension* skenario II, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-8521,741 sec. Selanjutnya pada **Gambar 4-38 (c)** menunjukkan grafik rekam *riser tension* skenario III, amplitudo *tension* terbesar berada di detik ke-8520,553 sec. Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang *riser tension* yang terjadi di setiap detiknya, maka dapat diketahui parameter-parameter statistik seperti *riser tension* maksimum dan *riser tension* signifikan. Pada skenario I, *riser tension* signifikan sebesar 768,18 kN, kemudian untuk skenario II, sebesar 753,009 kN, sedangkan untuk skenario III, sebesar 732,472 kN. Penambahan jumlah *mooring line* pada sistem tambat menyebabkan *riser tension* semakin kecil.

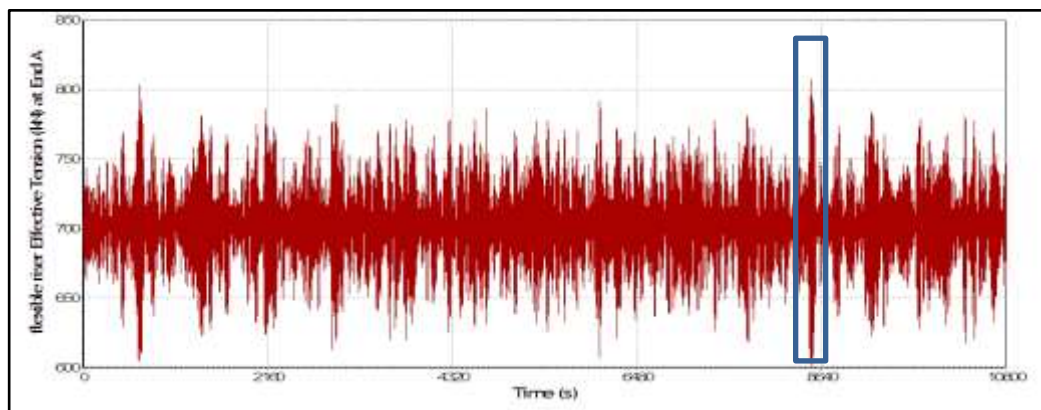


(a)

Gambar 4-38A Rekam *Riser Tension* pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ULS
(*maximum draft*) Selama 10800 detik : Skenario I (a), Skenario II (b), Skenario III (c)



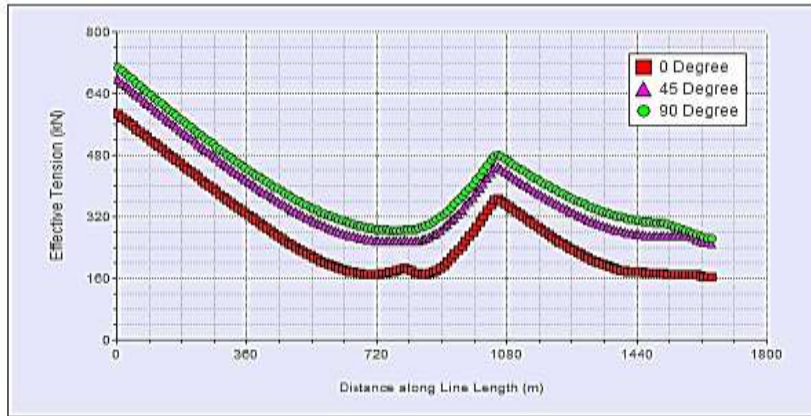
(b)



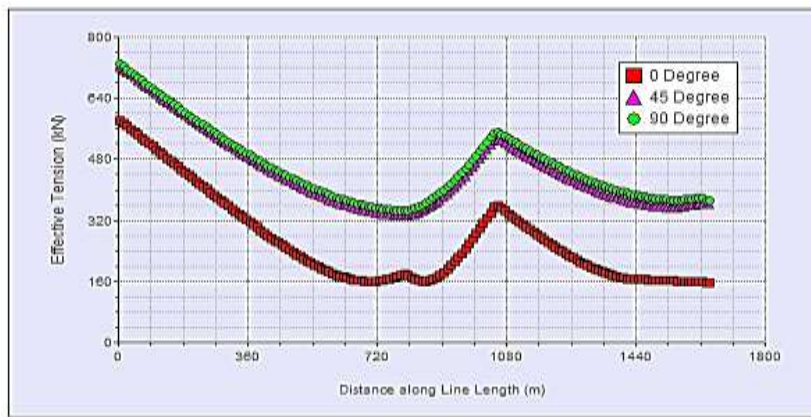
(c)

Gambar 4-38B Rekam *Riser Tension* pada Arah Pembebanan 90° - Kondisi ULS (*maximum draft*) Selama 10800 detik : Skenario I (a), Skenario II (b), Skenario III (c) (lanjutan)

Analisa *tension* pada *flexible riser* akibat sistem *spread mooring* juga ditinjau berdasarkan fungsi segmen sepanjang *riser line*. Pada **Gambar 4-39** menunjukkan bahwa *maximum tension* berada pada 0 meter *line length* yang merupakan titik lokasi *riser* pada FPU. pada masing-masing arah pembebanan mengalami kenaikan grafik secara signifikan pada daerah sekitar 1050 meter pada axis X. Hal ini dikarenakan letak ujung *bouyancy (floater)* berada pada radius 1050 meter dari FPU dan merupakan daerah peningkatan *tension* pada *flexible riser*.



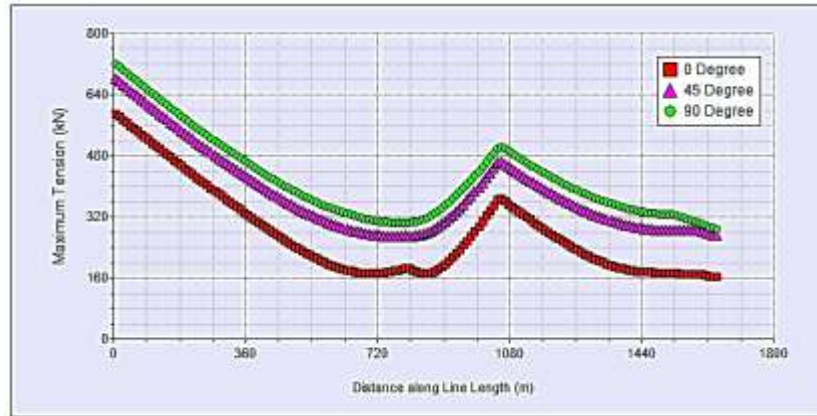
(a)



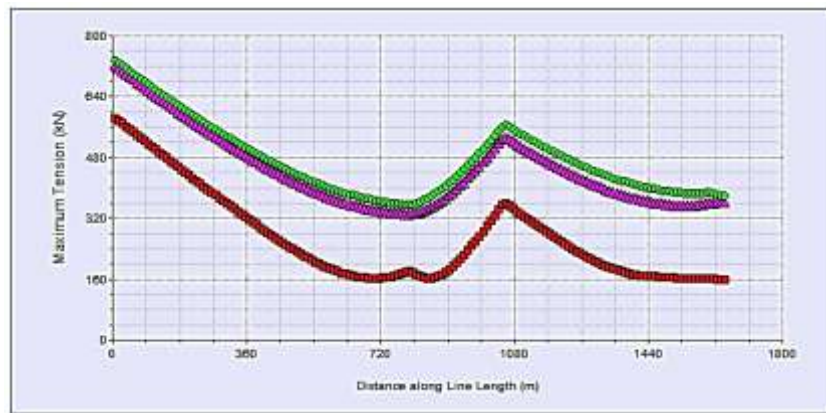
(b)

Gambar 4-39. *Maximum Tension Sepanjang Riser Line Length – Skenario Mooring I :*
(a) ULS, (b) ALS

Pada skenario I kondisi ULS untuk *maximum draft*, *tension* maksimum *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 602,64 kN, 725,58 kN, dan 844,23 kN. Sedangkan kondisi ALS, *tension* maksimum *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 603,14 kN, 847,05 kN, dan 886,33 kN.



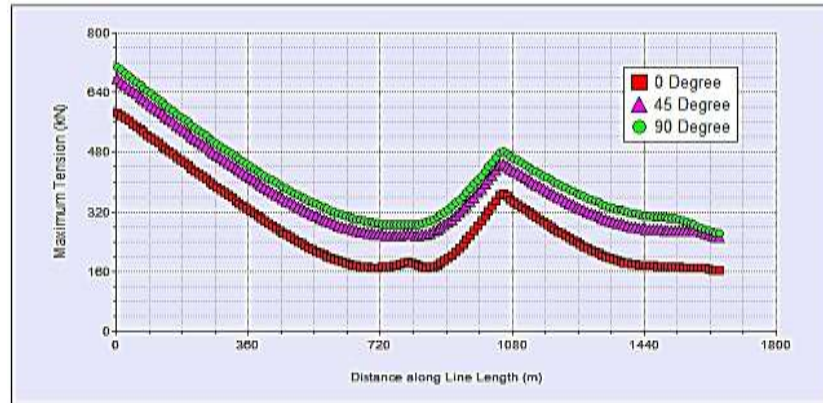
(a)



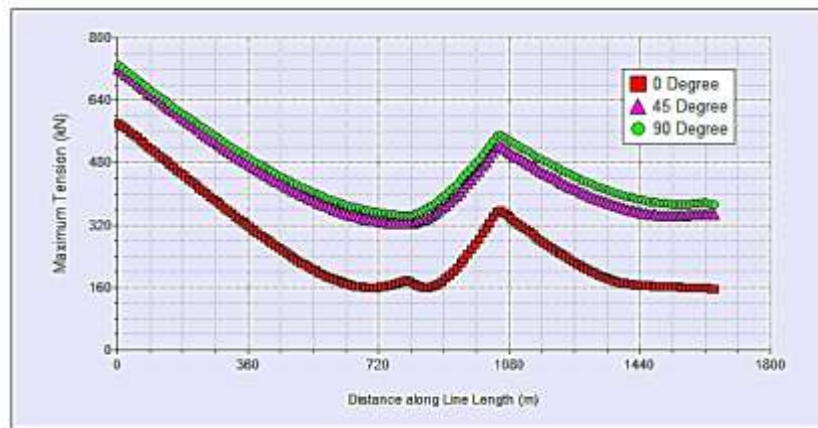
(b)

Gambar 4-40. *Maximum Tension Sepanjang Riser Line Length – Skenario Mooring II :*
(a) ULS, (b) ALS

Pada skenario II kondisi ULS untuk *maximum draft, tension* maksimum *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 601,90 kN, 715,85 kN, dan 828,50 kN. Sedangkan pada kondisi ALS, *tension* maksimum *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 602,30 kN, 820,83 kN, dan 885,57 kN.



(a)



(b)

Gambar 4-41. *Maximum Tension Sepanjang Riser Line Length – Skenario Mooring III :*
(a) ULS, (b) ALS

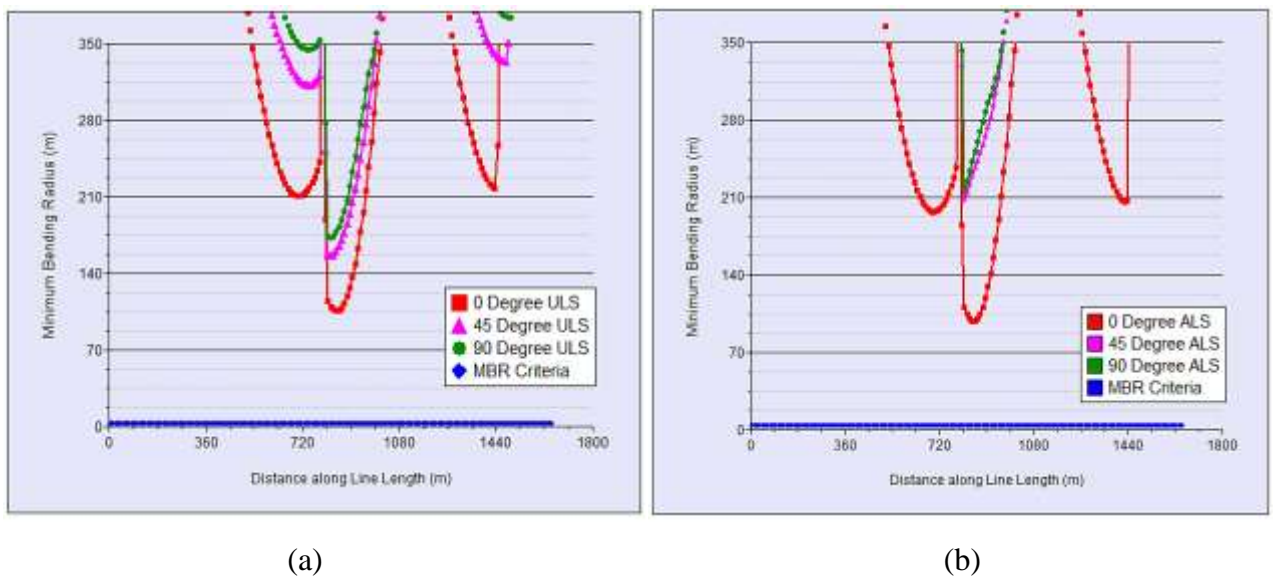
Pada skenario III kondisi ULS untuk *maximum draft*, *tension* maksimum *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 601,87 kN, 702,07 kN, dan 807,60 kN. Sedangkan pada kondisi ALS, *tension* maksimum *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 602,12 kN, 797,24 kN, dan 874,69 kN.

Pada **Gambar 4-39** sampai dengan **Gambar 4-41** dapat dilihat bahwa *tension* terbesar pada *flexible riser* terjadi pada arah pembebanan 90°, pada skenario mooring I saat kondisi ALS, dengan maximum tension 886,33 kN. Hal ini terjadi karena arah pembebanan 90° (*beam sea*) berhadapan langsung dengan posisi *flexible riser* yaitu di samping kapal.

4.7.2 Analisis *Minimum Bending Radius* pada *Flexible Riser*

Bending radius adalah *radius* yang diukur pada bagian dalam bengkakan setelah mengalami *bending*. Semakin besar *bending radius*, maka semakin rendah resiko terjadinya *fracture* dan semakin rendah terjadinya *drop strength* (penurunan kekuatan). Sebaliknya, semakin kecil *bending radius* maka semakin tinggi resiko terjadinya kegagalan. *Minimum bending radius* adalah radius minimum bending yang mungkin terjadi, sebelum material mengalami *fracture*.

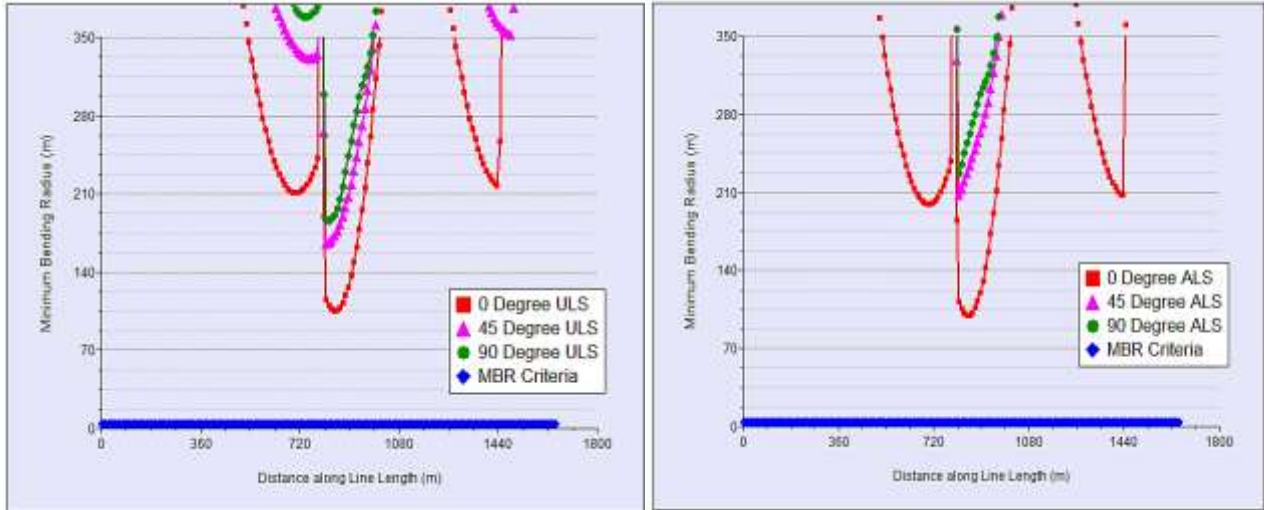
Hasil analisa *minimum bending radius* pada *flexible riser* akibat sistem *spread mooring* dengan variasi jumlah *mooring line* dapat dilihat pada **Gambar 4-42** sampai dengan **Gambar 4-44**. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa hasil *bending radius* yang terjadi di sepanjang *riser line* pada tiap-tiap arah pembebanan masih berada diatas garis berwarna biru yang merupakan kriteria *minimum bending radius* yang ditentukan (3,675 meter). Hal ini berarti bahwa *flexible riser* berada pada batas aman. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa titik terendah pada masing-masing arah pembebanan atau titik yang paling mendekati garis berwarna biru, berada di sekitar 800 meter pada axis X. Hal ini dikarenakan letak *bouyancy (floater)* berada pada radius 800 meter dari FPU.



Gambar 4-42 Bending Radius Sepanjang *Riser Line Length* – Skenario Mooring I :

(a) ULS, (b) ALS

Pada skenario I kondisi ULS untuk *maximum draft*, *bending radius* pada *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 105,44 m, 156,64 m, dan 172,91 m. Sedangkan untuk kondisi ALS, *bending radius* pada *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 98,66 m, 202,17 m, dan 217,45 m.



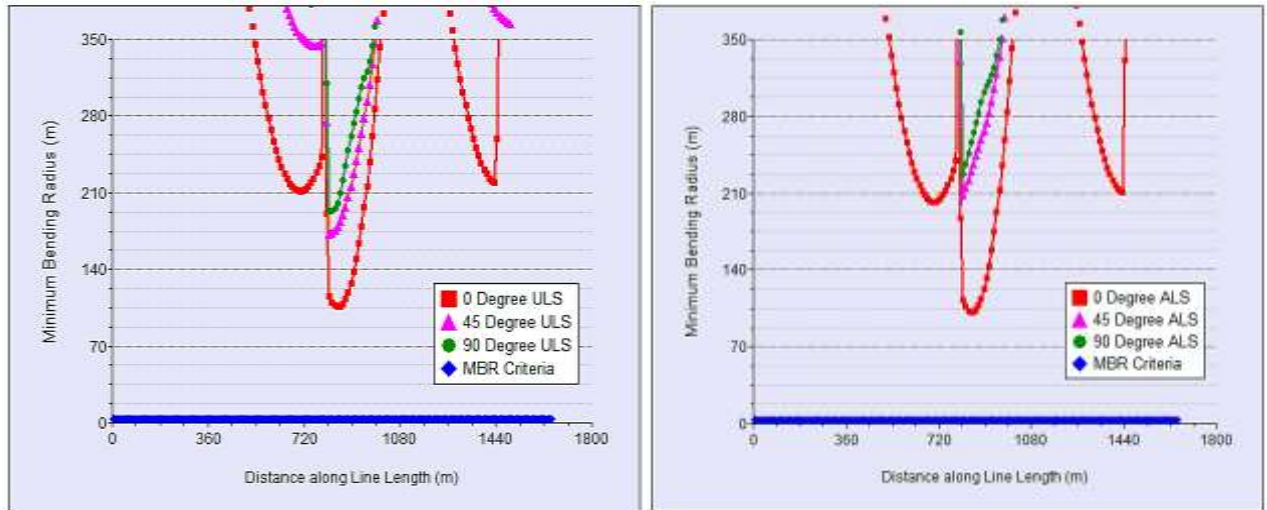
(a)

(b)

Gambar 4-43 Bending Radius Sepanjang Riser Line Length – Skenario Mooring II :

(a) ULS, (b) ALS

Pada skenario II kondisi ULS untuk *bending radius* pada *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 105,60 m, 165,66 m, dan 186,21 m. Sedangkan pada kondisi ALS, *bending radius* pada *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 99,81 m, 207,74 m, dan 226,79 m.



(a)

(b)

Gambar 4-44 Bending Radius Sepanjang *Riser Line Length* – Skenario Mooring III :

(a) ULS, (b) ALS

Pada skenario III kondisi ULS untuk *maximum draft*, *bending radius* pada *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 105,64 m, 172,21 m, dan 193,66 m. Sedangkan pada kondisi ALS, *bending radius* pada *flexible riser* pada *heading* 0°, 45°, 90° berturut-turut sebesar 101,19 m, 208,89 m, dan 227,45 m.

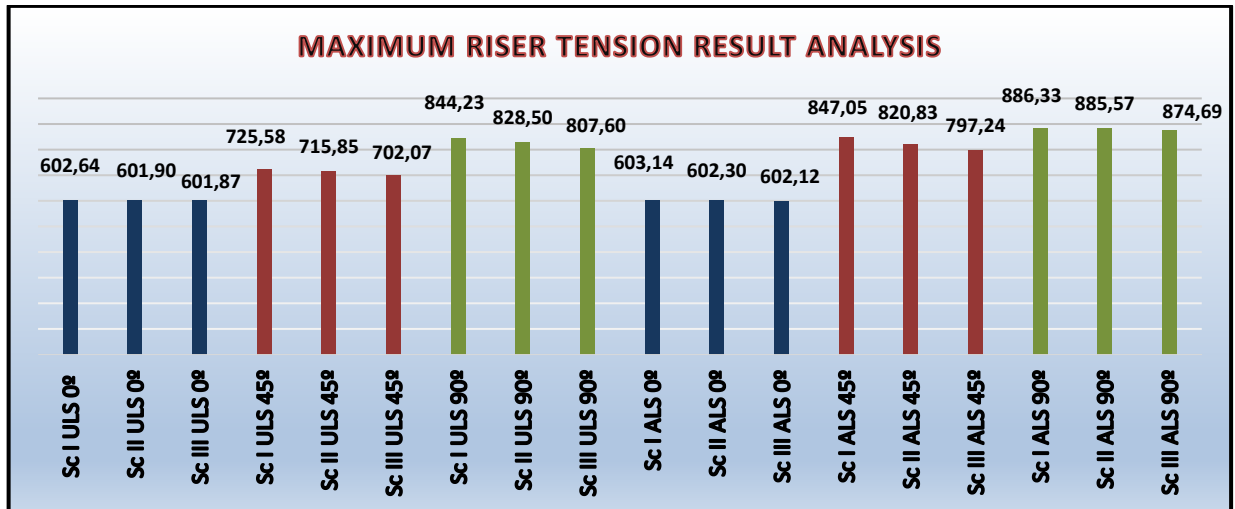
Pada **Gambar 4-42** sampai dengan **Gambar 4-44** dapat dilihat bahwa *bending radius* terkecil pada *flexible riser* terjadi pada arah pembebanan 0°, pada skenario mooring I saat kondisi ALS, dengan bending radius 98,66 meter. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi tersebut merupakan kondisi besar resiko terjadinya *bending* pada *flexible riser* dibandingkan dengan arah pembebanan lainnya.

Grafik-grafik diatas merupakan penggambaran dari hasil *minimum bending radius* dan *maximum tension* pada *flexible riser* sebagai akibat dari sistem *spread mooring* dengan variasi jumlah *mooring line* dan variasi arah pembebanannya (0°, 45° dan 90°) baik ULS maupun ALS.

Untuk memudahkan dalam melihat hasil *minimum bending radius* dan *maximum tension* pada *flexible riser* dan melihat bagaimana kondisi *safety factornya* apakah berada pada batas aman atau tidak, dapat dilihat dalam **Tabel 4.31**.

Tabel 4.31 Ringkasan Hasil Analisis *Flexible Riser*

Scen.	Heading	Mooring Cond.	FPU Cond.	Max Riser Tension (kN)	Failure Riser Tension (kN)	SF	Remark	Bending Radius (m)	MBR Criteria (m)	Remark
I	0°	ULS	Max Draft	602,64	1884	3,13	OK	105,44	3,675	OK
I	0°	ALS	Max Draft	603,14	1884	3,12	OK	98,66	3,675	OK
I	45°	ULS	Max Draft	725,58	1884	2,60	OK	156,64	3,675	OK
I	45°	ALS	Max Draft	847,05	1884	2,22	OK	202,17	3,675	OK
I	90°	ULS	Max Draft	844,23	1884	2,23	OK	172,91	3,675	OK
I	90°	ALS	Max Draft	886,33	1884	2,13	OK	217,45	3,675	OK
II	0°	ULS	Max Draft	601,90	1884	3,13	OK	105,60	3,675	OK
II	0°	ALS	Max Draft	602,30	1884	3,13	OK	99,81	3,675	OK
II	45°	ULS	Max Draft	715,85	1884	2,63	OK	165,66	3,675	OK
II	45°	ALS	Max Draft	820,83	1884	2,30	OK	207,74	3,675	OK
II	90°	ULS	Max Draft	828,50	1884	2,27	OK	186,21	3,675	OK
II	90°	ALS	Max Draft	885,57	1884	2,13	OK	226,79	3,675	OK
III	0°	ULS	Max Draft	601,87	1884	3,13	OK	105,64	3,675	OK
III	0°	ALS	Max Draft	602,12	1884	3,13	OK	101,19	3,675	OK
III	45°	ULS	Max Draft	702,07	1884	2,68	OK	172,21	3,675	OK
III	45°	ALS	Max Draft	797,24	1884	2,36	OK	208,89	3,675	OK
III	90°	ULS	Max Draft	807,60	1884	2,33	OK	193,66	3,675	OK
III	90°	ALS	Max Draft	874,69	1884	2,15	OK	227,45	3,675	OK
I	90°	ULS	Min Draft	771,00	1884	2,44	OK	165,76	3,675	OK
I	90°	ALS	Min Draft	856,72	1884	2,20	OK	193,99	3,675	OK
II	90°	ULS	Min Draft	760,50	1884	2,48	OK	172,73	3,675	OK
II	90°	ALS	Min Draft	821,89	1884	2,29	OK	209,92	3,675	OK
III	90°	ULS	Min Draft	749,89	1884	2,51	OK	177,85	3,675	OK
III	90°	ALS	Min Draft	791,49	1884	2,38	OK	224,30	3,675	OK



Gambar 4-45 Grafik Ringkasan Hasil *Maximum Tension* pada *Flexible Riser*

4.8 ANALISIS PENGARUH VARIASI *PRE-TENSION MOORING LINE* TERHADAP *RISER*

Dalam analisis suatu sistem *mooring*, perlu dilakukan manipulasi sistem tambat (*line adjustment/manipulation*) untuk menentukan besarnya tegangan awal (*pre-tension*) sistem tambat yang tepat agar operasi dapat dilakukan dengan aman. Pada sub-bab dalam Tugas Akhir ini akan dibahas mengenai analisis variasi *pre-tension* pada *mooring line* dan pengaruhnya terhadap tension pada *flexible riser*. Analisis hanya dilakukan pada *spread mooring* skenario I (8-lines). Untuk skenario II (12-lines) dan skenario III (16-lines) tidak dilakukan. Langkah-langkah penentuan *pre-tension* adalah sebagai berikut :

- Menentukan parameter-parameter *mooring* dan *pre-tension* yang divariasikan

Tabel 4.32 Detail Mooring Skenario I

DETAIL MOORING		
T max	=	45,51796 ton
D	=	75 MM
w	=	0,02 ton/meter
h	=	850 M
E	=	1,03E+08 KN/M2 1,13E+08 T/M2
A	=	0,00442 M2
Ts	=	30 ton

- Menentukan *upper angle* (sudut antara *mooring line* dan *mean sea water line*) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\cos \varphi_s = 1 - \frac{w \cdot h}{T_s} \quad (4.13)$$

- Menentukan *lower angle* (sudut antara *mooring line* dan *seabed*) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\cos \varphi_s}{\cos \varphi_i} = 1 - \frac{w \cdot h}{T_s} \quad (4.14)$$

- Menentukan *line length*, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{L}{h} = \frac{\cos \varphi_s}{1 - \cos \varphi_s} \sqrt{-6 + \sqrt{36 + 12 \left[(\tan \varphi_s)^2 - \left(\frac{1 - \cos \varphi_s}{\cos \varphi_s} \right)^2 \right]}} \quad (4.15)$$

Atau

$$\frac{L}{h} = \frac{\cos \varphi_s}{1 - \cos \varphi_s} \sqrt{-6 + \sqrt{12 + \frac{24}{\cos \varphi_s}}} \quad (4.16)$$

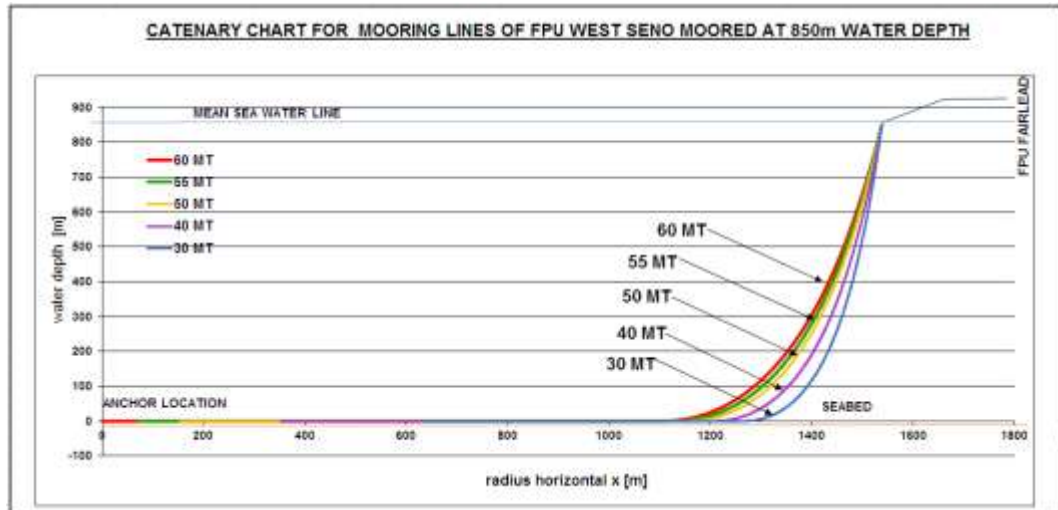
- Menentukan horizontal projection

$$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \frac{w l_{min}}{T_H} + \frac{T_H l_{min}}{AE} \quad (4.17)$$

Berdasarkan persamaan-persamaan diatas maka telah didapatkan hasil perhitungan *pre-tension* untuk skenario *spread mooring* skenario I (8-lines) dan disajikan dalam **Tabel 4.33** berikut.

Tabel 4.33 Hasil Perhitungan *Pre-Tension* Skenario I

No	Depth (m)	Upper Angle (deg)	Lower Angle (deg)	Pre-Tension (KN)	Mooring Length (m)	Radius horizontal (m)
1	850	64,321	0	300	966,060	904,281
2	850	54,900	0	400	1326,593	1185,369
3	850	48,700	0	500	1611,938	1384,198
4	850	46,298	0	550	1738,072	1465,975
5	850	44,220	0	600	1855,124	1538,755



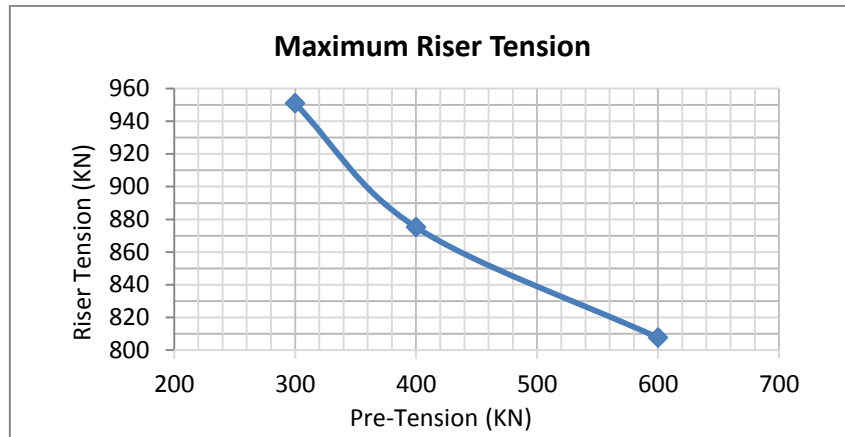
Gambar 4-46 Hasil Grafik *Catenary Mooring Line* dengan Variasi *Pre-Tension*

Pada **Gambar 4-46** dapat dilihat bahwa *pre-tension* divariasikan menjadi 30 MT, 40 MT, 50 MT, 55 MT dan 60 MT. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil *pre-tension*, maka *mooring line* semakin pendek dan kendur.

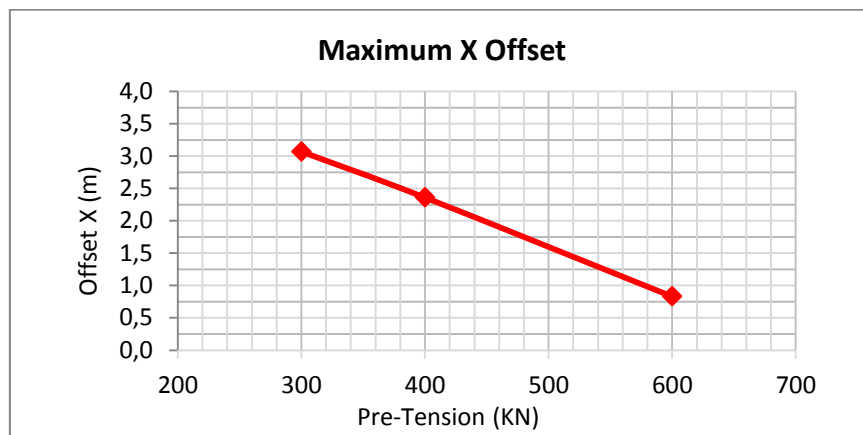
Setelah didapatkan sudut *pre-tension*, panjang *mooring line* dan *horizontal projection*, selanjutnya disimulasikan pada struktur FPU yang telah dimodelkan sebelumnya. Simulasi yang dilakukan hanya pada *heading* 90° karena pada arah pembebanan tersebut memiliki efek yang signifikan terhadap *flexible riser*. Berikut merupakan hasil analisa pengaruh variasi *pre-tension* terhadap *riser tension* pada sistem *spread mooring* skenario I.

Tabel 4.34 Hasil *Riser Tension* dan *Offset FPU* Akibat Variasi *Pre-Tension*

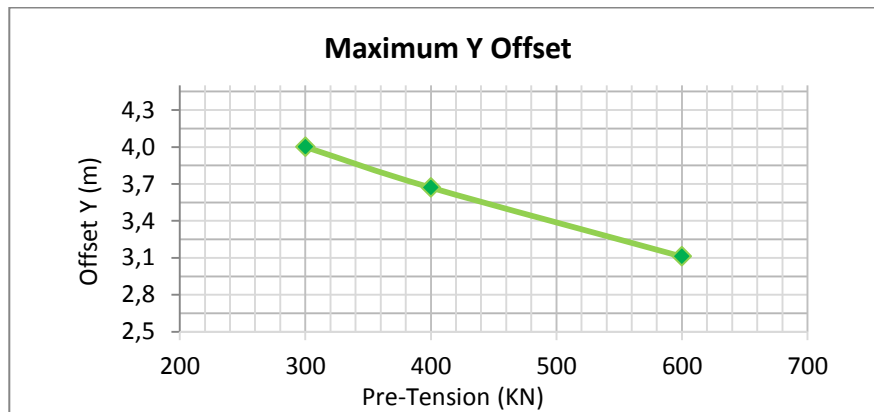
Pre-tension (KN)	Max Riser Tension (KN)	Max X Offset (m)	Max Y Offset (m)
300	950,88	3,07	4,00
400	875,17	2,36	3,67
600	807,6	0,83	3,11



(a)



(b)



(c)

Gambar 4-47 Pengaruh Variasi Pre-Tension : (a) Terhadap Riser Tension, (b) Terhadap Offset X, (c) Terhadap Offset Y

Pada **Gambar 4-47** dapat dilihat bahwa semakin kecil *pre-tension* yang diterapkan pada *sistem mooring*, maka *riser tension* semakin besar. Sebaliknya jika semakin besar *pre-tension* maka *riser tension* semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin kecil *pre-tension*, maka *mooring line* semakin kendur dan mengakibatkan struktur FPU bergerak lebih bebas. Hal ini dibuktikan pada gambar **Gambar 4-47 (b)** dan **Gambar 4-47 (c)** bahwa semakin kecil *pre-tension* maka FPU mengalami offset yang lebih besar, baik offset X maupun offset Y.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Dari perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan pada BAB IV maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang juga akan menjawab permasalahan yang ada pada penelitian Tugas Akhir. Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat dirangkum dari penelitian ini:

1. Karakteristik gerak FPU menghasilkan nilai yang bervariasi pada kondisi *free floating* dengan kondisi pembebanan *maximum draft* maupun *minimum draft*. Pada kondisi pembebanan *maximum draft*, untuk gerakan translasional *surge* bernilai 0.933 m/m pada *heading* 0°, *sway* bernilai 0.958 m/m pada *heading* 90°, dan *heave* sebesar 1.155 m/m pada *heading* 90°. Sedangkan untuk gerakan rotasional, gerakan *roll* berniali 5.74 deg/m pada *heading* 270°, *pitch* bernilai 1.078 deg/m pada *heading* 225°, dan *yaw* bernilai 0.505 deg/m pada 135°. Kemudian untuk kondisi pembebanan *minimum draft*, untuk gerakan translasional *surge* bernilai 0.933 m/m pada *heading* 0°, *sway* bernilai 0.958 m/m pada *heading* 90°, dan *heave* sebesar 1.113 m/m pada *heading* 90°. Sedangkan untuk gerakan rotasional, gerakan *roll* berniali 5.870 deg/m pada *heading* 270°, *pitch* bernilai 1.078 deg/m pada *heading* 225°, dan *yaw* bernilai 0.505 deg/m pada *heading* 135°.
2. Semakin banyak jumlah *mooring line* (16-lines), maka *tension* yang terjadi pada *mooring* semakin kecil, dan semakin kecil pula *offset* yang terjadi pada FPU. Hal ini dikarenakan banyaknya *mooring line* dapat meminimalkan beban lingkungan dan menambah gaya redaman pada gerakan FPU.
3. Semakin banyak jumlah *mooring line* (16-lines), semakin kecil *offset* yang terjadi pada FPU, maka semakin kecil *tension* yang terjadi pada *flexible riser*. *Tension* terbesar pada *flexible riser* terjadi pada arah pembebanan 90°, pada skenario mooring I saat kondisi ALS, dengan maximum tension

886,33 kN. Hal ini terjadi karena arah pembebanan 90° (*beam sea*) berhadapan langsung dengan posisi *flexible riser*.

4. Semakin kecil *pre-tension* yang diterapkan pada *sistem mooring*, maka *riser tension* semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin kecil *pre-tension*, maka *mooring line* semakin kendur dan mengakibatkan struktur FPU bergerak lebih bebas (*offset* lebih besar). *Pre-tension* yang sesuai untuk Skenario I yaitu *pre-tension* terbesar (600 KN).

5.2. SARAN

Saran yang dapat diberikan yang bersifat membangun untuk penelitian lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dianjurkan untuk melakukan analisis *fatigue life* (FLS) dan keandalan pada sistem *spread mooring*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan tingkat keamanan pada *mooring line* yang memiliki peran penting dalam menjaga gerakan FPU dalam melakukan operasinya.
2. Dianjurkan untuk melakukan analisis dengan menggunakan kondisi lingkungan *collinear* dan *non-collinear* yang ditentukan oleh *Lloyd Register* dengan interval arah datang beban lingkungan terbesar untuk kondisi *collinear* sebesar 15° , dan $22,5^\circ$ untuk arah datang beban lingkungan kondisi *non-collinear*.
3. Dapat melanjutkan penelitian untuk analisis tegangan von Mises dan *maximum compression* yang terjadi pada *flexible riser*.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- American Bureau of Shipping, 2012, *Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units*. USA: American Bureau of Shipping
- API RP 2P., 1987, *Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units*. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- API RP 2SK., 2005, *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- API Specification 17J, 2008, *Specification for Unbonded Flexible Pipe*. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- Aryawan, I., 2005, “*Hydrodynamics of Floating Offshore Structures*”, Lloyd's Register EMEA – Aberdeen.
- Bhattacharyya, R., 1978, *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons, Inc. .
- Cendekiawan, Vikry, 2016, “*Studi Komparasi Perilaku Gerak FLNG Masela Terhadap Sistem Tambat Spread Mooring Dengan Konfigurasi Spread dan Group (Bundle)*”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Chakrabarti, S.K., 1987, *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Boston, USA: Computational Mechanics Publications Southampton.
- Chen, X.B et al, 1994, *Recent Advance on The Slow – Drift Damping of Offshore Structures*. France . Hydrostar Experts Documents
- Cummins, W.E., 1962, “*The Impulse Response Function and Ship Motion*”, Dept. Of Navy DTMB, Report 1661, Washington DC, USA, Oct.

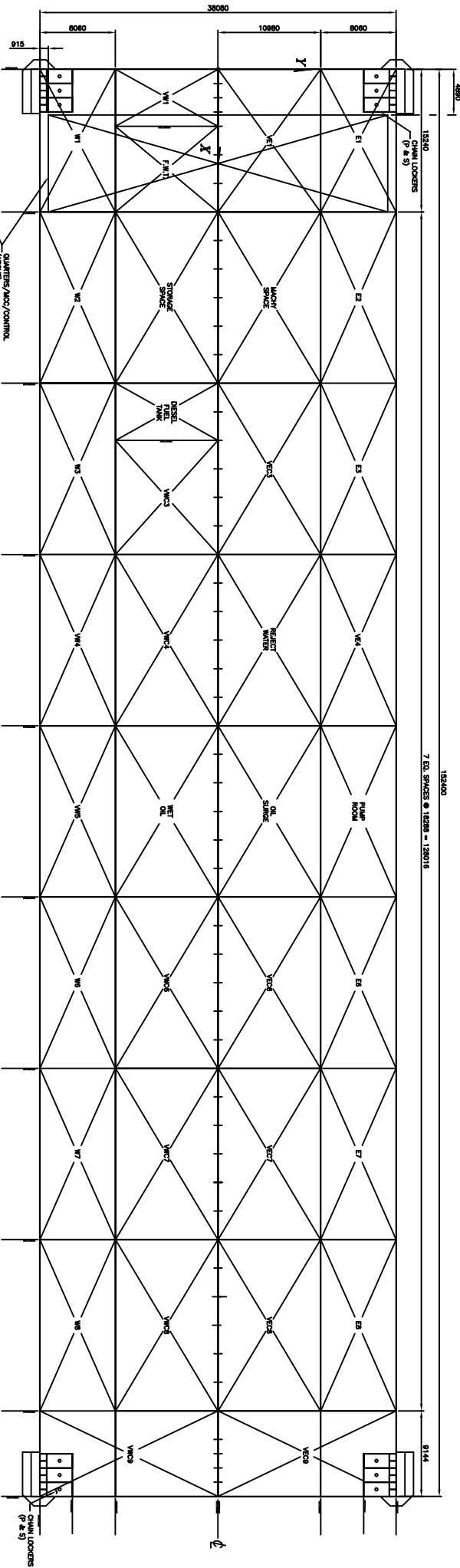
- Djarmiko, E.B. dan Murdijanto, 2003, “*Seakeeping: Perilaku Bangunan Apung di Atas Gelombang*”, Surabaya: ITS Press. ITS Surabaya. Indonesia.
- Djarmiko, E.B. 2012, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- DNV OS E301, 2004, “*Position Mooring*”, Det Norske Veritas, Norway.
- DNV RP C205, 2010, “*Environmental Conditions and Environmental Loads*”, Det Norske Veritas , Norway.
- DNV-RP-F205. 2010, *Global Performance Analysis of Deepwater Floating Structures*. Norway.
- Faltinsen, O.M., 1990, “*Sea Loads On Ships And Offshore Structures*”, United Kingdom : Cambridge University Press.
- HSE (Health & Safety Executive) Books, 2006, “*Floating Production System: JIP FPS Mooring Integrity*”, Noble Denton Europe Limited.
- Huijsmans, R. H. M., 1996, “*Mathematical Modelling of the Mean Wave Drift Force in Current: A Numerical and Experimental Study*”, Grafisch Bedrijf Ponsen & Looijen BV, Wageningen, Netherlands.
- Kim,M.H. dan Tahar Archandra, 2003, “*Hull/mooring/riser coupled dynamic analysis and sensitivity study of a tanker-based FPSO*”, Ocean Engineering Program, Civil Engineering Department, Texas A&M University.
- Indiyono, P., 2003, *Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*. Surabaya: SIC.
- Journee, J. M. J., Massie, W. W. 2001, *Offshore Hydrodynamic First Edition*. Delft University of Technology.
- Kim dan Bernitsas, 2001, *Nonlinier dynamics and stability of spread mooring with riser*, Journal of Applied Ocean Research 23 111 -123, USA.

- Kwan, C. T. dan Bruen, F. J., 1991, “*Mooring Line Dynamics: Comparison of Time Domain, Frequency Domain, and Quasi-Static Analyses*”, Offshore Technology Conference: 6-9 Mei 1991.
- Li S., Nguyen C., 2010, “*Dynamic Response of Deepwater Lazy-Wave Catenary Riser*” DOT International
- Liu, Yingzhong and Miao Guoping.1998, “*Theory of motion of ships on waves*”. Shanghai Jiao Tong University Press.
- Lu, H. “*On the Simulation of Ship Motions Induced by Extreme Waves*”. Dissertation of Computational and Data Sciences. George Mason University.
- MIT. 2011, “Mooring Dynamics”. *Design of Ocean Systems*. Lecture 13
- OCIMF. 1999, *Design and Construction Specification for Loading Arms*. United Kingdom : Witherby Seamanship International
- OCIMF. 1997, *Mooring Equipment Guidelines 2nd Edition*. United Kingdom : Witherby Seamanship International.
- OCIMF. 2008, *Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition*. United Kingdom : Witherby Seamanship International.
- Permana, S. A., 2013, “*Analisis Kekuatan Riser Pada Single Buoy Mooring FPSO “SEAGOOD 101” Saat Kondisi Far Side dan Near Side*”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Prasiwi, R. A., 2016, “*Analisis Perilaku FPSO Terhadap Internal Turret Mooring System Berbasis Time Domain*”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Slamet, S., 2013, *Analisa Variasi Konfigurasi Sudut Sebar Sistm Spread Mooring pada Semi-submersible “Essar Wildcat”*, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya

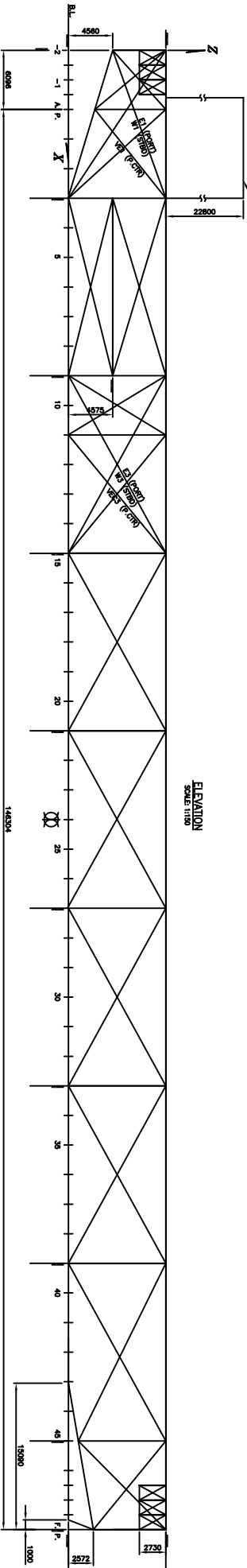
- Šime M. And Chen X.B , 1998, *On the Irregular Frequencies Appearing in Wave Diffraction - Radiation Solutions*. France. Hydrostar Experts Manual
- Wibowo, Y. A., 2014, “*Analisis Pengaruh Variasi Jarak Horizontal Antara FSRU dan LNGC Saat Side by side Offloading Terhadap Perilaku Gerak Kapal dan Gaya Tarik Coupling Line*”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Wibowo, Y. A., 2016, “*Analisis Pengaruh Gaya Gelombang Non-linier Orde-2 Terhadap Struktur Apung Tertambat Dengan Sistem Eksternal Turret Mooring*”, Tesis Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Wichers, J.E.W. 1988, "Wave-current Interaction Effects on Moored Tankers in High Seas". *Offshore Technology Conf.* Paper No. OTC5631, Houston.
- Wijaya, M. S. H., 2010, “*Analisa Tegangan Dinamis Flexible Riser Akibat Motion FPSO Saat Kondisi Fully Loaded dan Ballast dengan Variasi Panjang Flexible Riser*”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya
- Yilmaz, O. dan Incecik, A., 1994, “*Hydrodynamic Design of Moored Floating Platforms*”, *Journal of Marine Structures*, Great Britain,UK
- Yudistira, R., 2010, “*Analisa Tegangan Flexible Riser Tipe Step Wave Pada FPSO Akibat Gaya Hidrodinamis dalam Kondisi Ekstrem, Berbasis Resiko*”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya
- Ziyan, M. 2013, “*Analisis Operabilitas FSRU Akibat Beban Lingkungan Berbasis Ranah Waktu*”. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

N
(PER)
(W)

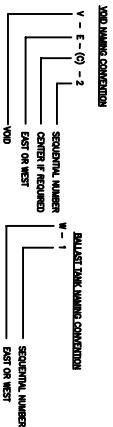
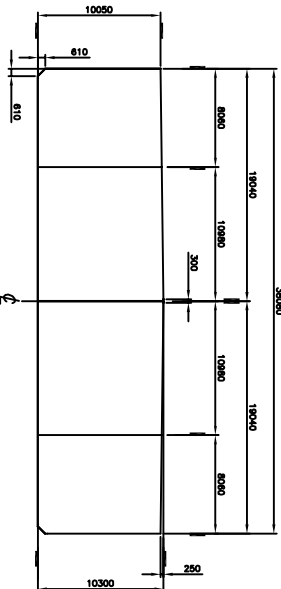
PLAN AT MAIN DECK
SCALE 1:150



ELEVATION
SCALE 1:150



TYPICAL SECTION
SCALE 1:150



NOTE:
ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.

AS BUILT

REV	DATE	BY	DESCRIPTION	CHK	DATE	APP'D	SCALE	1:150	SH 1 OF 1	DWG NO. SMC-PFL-D-2000-100-S&1	REV. 100
0	02/08/02	BLD/C	APC								
1	06/11/03	BLD/C	AS BUILT								
100	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
101	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
102	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
103	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
104	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
105	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
106	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
107	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
108	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
109	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
110	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
111	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
112	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
113	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
114	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
115	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
116	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
117	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
118	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
119	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
120	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
121	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
122	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
123	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
124	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
125	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
126	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
127	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
128	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
129	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
130	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
131	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
132	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
133	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
134	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
135	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
136	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
137	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
138	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
139	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
140	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
141	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
142	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
143	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
144	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
145	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
146	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
147	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
148	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
149	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
150	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
151	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
152	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
153	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
154	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
155	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
156	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
157	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
158	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
159	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
160	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
161	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
162	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
163	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
164	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
165	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
166	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
167	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
168	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
169	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
170	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
171	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
172	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
173	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
174	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
175	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
176	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
177	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
178	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
179	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
180	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
181	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
182	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
183	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
184	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
185	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
186	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
187	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
188	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
189	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
190	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
191	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
192	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
193	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
194	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
195	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
196	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
197	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
198	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
199	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								
200	02/24/06	BLD/C	TURNOVER REVISION								


```

$-----*
$
$                                         Created by          : DIAN FIDINI MAHANANI
$                                         NRP                 : 4313 100 055
$*****
$
$
$-----factors for dimensions-----
&dimen -save -dimen meters m-tons
$
$*****
$----- VESSEL DEFINITION-----
$
&DESCRIBE BODY FPUWESTSENO
$
$-----
$
Pgen Hull -Perm 1.0 -Loc 0.0 0.0 0.0 -Cs_wind 1.00 1.00 0.00 -Difttype 3DDIF
Plane 0 -CART 0 2.572 10.98 2.572 18.43 2.572 19.04 3.182 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 1.524 -CART 0 2.315 10.98 2.315 18.43 2.315 19.04 2.925 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 3.048 -CART 0 2.058 10.98 2.058 18.43 2.058 19.04 2.668 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 4.572 -CART 0 1.800 10.98 1.800 18.43 1.800 19.04 2.410 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 6.096 -CART 0 1.543 10.98 1.543 18.43 1.543 19.04 2.153 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 7.620 -CART 0 1.286 10.98 1.286 18.43 1.286 19.04 1.896 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 9.144 -CART 0 1.029 10.98 1.029 18.43 1.029 19.04 1.639 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 12.192 -CART 0 0.494 10.98 0.494 18.43 0.494 19.04 1.104 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
$=====
$ Parallel Midle Body
$=====
Plane 15.240 16.764 18.288 19.812 21.336 22.860 24.384 25.908 27.432 28.956 30.480 32.004 33.528 35.052 36.576 \
38.100 39.624 41.148 42.672 44.196 45.720 47.244 48.768 50.292 51.816 53.340 54.864 56.388 57.912 59.436 \
60.960 62.484 64.008 65.532 67.056 68.580 70.104 71.628 73.152 74.676 76.200 77.724 79.248 80.772 82.296 \
83.820 85.344 86.868 88.392 89.916 91.440 92.964 94.488 96.012 97.536 99.060 100.584 102.108 103.632 105.156 \
106.680 108.204 109.728 111.252 112.776 114.300 115.824 117.348 118.872 120.396 121.920 123.444 124.968 126.492 128.016 \
129.540 131.064 132.588 134.112 135.636 137.160 \
Plane -CART 0 0 10.98 0 18.43 0 19.04 0.61 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 140.208 -CART 0 0.912 10.98 0.912 18.43 0.912 19.04 1.522 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 141.732 -CART 0 1.368 10.98 1.368 18.43 1.368 19.04 1.978 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 143.256 -CART 0 1.824 10.98 1.824 18.43 1.824 19.04 2.434 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 146.304 -CART 0 2.736 10.98 2.736 18.43 2.736 19.04 3.346 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 147.828 -CART 0 3.192 10.98 3.192 18.43 3.192 19.04 3.802 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 149.352 -CART 0 3.648 10.98 3.648 18.43 3.648 19.04 4.258 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 150.876 -CART 0 4.104 10.98 4.104 18.43 4.104 19.04 4.714 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
Plane 152.4 -CART 0 4.560 10.98 4.560 18.43 4.560 19.04 5.170 19.04 10.05 10.98 10.157 0 10.3
END_PGEM
$
$

```

```

$-----
$          BARGE COMPARTMENT 1
$-----
&DESCRIBE COMPARTMENT VWC8
Pgen VWC8 -Perm -0.985 -Loc 0.0 0.0 0.0 -STBD
Plane 9.144 -CART 0 1.029 10.98 1.029 10.98 10.157 0 10.3
Plane 12.192 -CART 0 0.514 10.98 0.514 10.98 10.157 0 10.3
Plane 15.24 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 18.288 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 21.336 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 24.384 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 27.432 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
END_PGEN
&DESCRIBE COMPARTMENT VEC_8B
Pgen VEC_8B -Perm -0.985 -Loc 0.0 0.0 0.0 -PORT
Plane 9.144 -CART 0 1.029 10.98 1.029 10.98 10.157 0 10.3
Plane 12.192 -CART 0 0.514 10.98 0.514 10.98 10.157 0 10.3
Plane 15.24 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 18.288 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
END_PGEN
&DESCRIBE COMPARTMENT WET_OIL2
Pgen WET_OIL2 -Perm -0.985 -Loc 0.0 0.0 0.0 -PORT
Plane 18.288 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 21.336 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 24.384 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 27.432 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
END_PGEN
&DESCRIBE COMPARTMENT W8
Pgen W8 -Perm -0.985 -Loc 0.0 10.98 0.0 -STBD
Plane 9.144 -CART 0 1.029 7.45 1.029 8.06 1.639 8.06 10.05 0 10.157
Plane 12.192 -CART 0 0.514 7.45 0.514 8.06 1.124 8.06 10.05 0 10.157
Plane 15.24 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 18.288 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 21.336 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 24.384 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 27.432 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
END_PGEN
&DESCRIBE COMPARTMENT E8
Pgen E8 -Perm -0.985 -Loc 0.0 -10.98 0.0 -PORT
Plane 9.144 -CART 0 1.029 7.45 1.029 8.06 1.639 8.06 10.05 0 10.157
Plane 12.192 -CART 0 0.514 7.45 0.514 8.06 1.124 8.06 10.05 0 10.157
Plane 15.24 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 18.288 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 21.336 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 24.384 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 27.432 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
END_PGEN

```

```

$-----
$      BARGE COMPARTMENT 2
$-----
&DESCRIBE COMPARTMENT VwC7
Pgen VwC7 -Perm -0.985 -Loc 0.0 0.0 0.0 -STBD
Plane 27.432 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 30.480 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 33.528 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 36.576 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 39.624 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 42.672 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 45.72 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
END_PGEN
&DESCRIBE COMPARTMENT VEC7
Pgen VEC7 -Perm -0.985 -Loc 0.0 0.0 0.0 -PORT
Plane 27.432 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 30.480 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 33.528 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 36.576 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 39.624 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 42.672 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
Plane 45.72 -CART 0 0 10.98 0 10.98 10.157 0 10.3
END_PGEN
&DESCRIBE COMPARTMENT w7
Pgen w7 -Perm -0.985 -Loc 0.0 10.98 0.0 -STBD
Plane 27.432 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 30.480 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 33.528 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 36.576 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 39.624 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 42.672 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 45.72 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
END_PGEN
&DESCRIBE COMPARTMENT E7
Pgen E7 -Perm -0.985 -Loc 0.0 -10.98 0.0 -PORT
Plane 27.432 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 30.480 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 33.528 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 36.576 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 39.624 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 42.672 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
Plane 45.72 -CART 0 0 7.45 0 8.06 0.61 8.06 10.05 0 10.157
END_PGEN
$-----

```

```

&COMPART -PERCENT E1 14.68 1.025
&COMPART -PERCENT E2 15.10 1.025
&COMPART -PERCENT E3 0 1.025
&COMPART -PERCENT E6 0 1.025
&COMPART -PERCENT E7 58.61 1.025
&COMPART -PERCENT E8 68.40 1.025
&COMPART -PERCENT W1 60.29 1.025
&COMPART -PERCENT W2 44.94 1.025
&COMPART -PERCENT W3 0 1.025
&COMPART -PERCENT W6 0 1.025
&COMPART -PERCENT W7 88.51 1.025
&COMPART -PERCENT W8 98.84 1.025
&COMPART -PERCENT WET_OIL1 100 0.9
&COMPART -PERCENT WET_OIL2 100 0.7
&COMPART -PERCENT DIESEL_FUEL 49.43 0.9
&COMPART -PERCENT F.W.T 60.48 1
&COMPART -PERCENT MACHY_SPACE 0 1
&COMPART -PERCENT MEG_1 100 1.11
&COMPART -PERCENT MEG_2 100 1.11
&COMPART -PERCENT OIL_SURGE 100 0.9
&COMPART -PERCENT PUMP_ROOM 0 1
&COMPART -PERCENT REJECT_WATER 97.37 1
&COMPART -PERCENT STORAGE_SPACE 0 1
&COMPART -PERCENT VE1 0 1
&COMPART -PERCENT VE4 0 1
&COMPART -PERCENT VEC6 0 1
&COMPART -PERCENT VEC7 0 1
&COMPART -PERCENT VEC9 0 1
&COMPART -PERCENT VEC_8B 0 1
&COMPART -PERCENT Vw1 0 1
&COMPART -PERCENT Vw4 0 1
&COMPART -PERCENT Vw5 0 1
&COMPART -PERCENT VwC3 0 1
&COMPART -PERCENT VwC6 0 1
&COMPART -PERCENT VwC7 0 1
&COMPART -PERCENT VwC8 0 1
&COMPART -PERCENT VwC9 0 1
&COMPART -PERCENT VEF-1 0 1
&COMPART -PERCENT VEF-2 0 1
&COMPART -PERCENT VEF-3 0 1
&COMPART -PERCENT VwF-1 0 1
&COMPART -PERCENT VwF-2 0 1
&COMPART -PERCENT VwF-3 0 1
&COMPART -PERCENT VEF-4 0 1
&COMPART -PERCENT VEF-5 0 1
&COMPART -PERCENT VEF-6 0 1
&COMPART -PERCENT VwF-4 0 1
&COMPART -PERCENT VwF-5 0 1
&COMPART -PERCENT VwF-6 0
$

```

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     9 May, 2017                             *
* Hydrodynamics Analysis of FPU WEST SENO                                     *
* Draft = 5.8 Meters Trim Angle = -0.00 Deg. GMT = 18.2 Meters *
* Roll Gy. Radius = 12.2 Meters Pitch Gy. Radius = 42.3 Meters Yaw Gy. Radius = 43.5 Meters *
* Heading = 0.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++
=====

Results are in Body System

Of Point On Body FPUWESTS At X = 75.7 Y = -0.0 Z = 8.7

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2513	25.00	0.933	117	0.007	-153	0.964	28	0.001	82	0.363	-61	0.002	-54
0.3142	20.00	0.868	132	0.006	-137	0.911	43	0.001	85	0.550	-45	0.004	-42
0.3307	19.00	0.845	136	0.006	-133	0.891	48	0.002	87	0.602	-41	0.004	-38
0.3491	18.00	0.817	142	0.006	-127	0.865	54	0.002	91	0.660	-35	0.004	-32
0.3696	17.00	0.781	148	0.005	-121	0.830	60	0.003	95	0.724	-29	0.005	-26
0.3927	16.00	0.736	155	0.005	-113	0.784	68	0.003	102	0.793	-21	0.005	-17
0.4189	15.00	0.678	164	0.004	-104	0.721	77	0.005	110	0.866	-12	0.006	-7
0.4333	14.50	0.643	169	0.004	-98	0.683	83	0.005	115	0.902	-6	0.006	-1
0.4488	14.00	0.604	174	0.003	-91	0.638	89	0.006	122	0.937	0	0.006	5
0.4654	13.50	0.560	-179	0.003	-82	0.586	96	0.007	129	0.968	5	0.006	12
0.4833	13.00	0.509	-172	0.002	-71	0.527	104	0.008	137	0.994	13	0.006	21
0.5027	12.50	0.453	-164	0.002	-56	0.460	114	0.009	148	1.010	21	0.006	31
0.5236	12.00	0.390	-156	0.001	-26	0.387	126	0.011	160	1.012	30	0.006	43
0.5464	11.50	0.321	-146	0.001	36	0.308	141	0.013	175	0.994	41	0.006	56
0.5712	11.00	0.247	-135	0.001	90	0.229	162	0.016	-165	0.947	54	0.006	73
0.5984	10.50	0.170	-122	0.002	119	0.158	-165	0.020	-143	0.863	69	0.006	93
0.6283	10.00	0.095	-108	0.003	142	0.120	-114	0.026	-117	0.738	87	0.005	119
0.6614	9.50	0.029	-90	0.004	166	0.136	-58	0.037	-87	0.574	112	0.004	156
0.6981	9.00	0.022	110	0.005	-168	0.175	-16	0.061	-55	0.400	150	0.004	-153
0.7392	8.50	0.049	135	0.008	-144	0.190	19	0.129	-32	0.293	-147	0.006	-100
0.7854	8.00	0.047	164	0.008	-163	0.155	60	0.198	-57	0.327	-79	0.007	-57
0.8378	7.50	0.021	-160	0.002	-143	0.097	127	0.083	-33	0.342	-22	0.007	-10
0.8976	7.00	0.009	86	0.000	0	0.073	-130	0.050	45	0.245	46	0.004	59
0.9666	6.50	0.028	151	0.000	0	0.059	-23	0.034	143	0.156	160	0.003	-173
1.0472	6.00	0.009	-44	0.000	0	0.043	106	0.023	-80	0.110	-49	0.004	-50
1.1424	5.50	0.017	116	0.001	109	0.033	-54	0.023	86	0.074	119	0.003	115
1.2566	5.00	0.006	25	0.001	-4	0.027	-172	0.003	-102	0.053	9	0.002	-23
1.3963	4.50	0.007	7	0.000	0	0.012	152	0.005	-86	0.018	-25	0.002	-96
1.5708	4.00	0.006	-42	0.000	0	0.013	-107	0.005	-58	0.016	10	0.001	0
2.0944	3.00	0.006	-132	0.001	67	0.001	-35	0.011	0	0.004	147	0.003	44


```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     9 May, 2017                             *
* Hydrodynamics Analysis of FPU WEST SENO                                     *|
* Draft      = 5.8 Meters      Trim Angle = -0.00 Deg.      GMT      = 18.2 Meters *
* Roll Gy. Radius = 12.2 Meters Pitch Gy. Radius = 42.3 Meters Yaw Gy. Radius = 43.5 Meters *
* Heading    = 45.00 Deg.      Forward Speed = 0.00 Knots   Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++

Results are in Body System

Of Point On Body FPUWESTS At X = 75.7 Y = -0.0 Z = 8.7

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2513	25.00	0.671	109	0.667	110	0.982	20	0.255	110	0.259	-69	0.157	-159
0.3142	20.00	0.641	120	0.634	122	0.956	31	0.391	121	0.399	-58	0.237	-148
0.3307	19.00	0.630	123	0.623	125	0.946	34	0.429	124	0.440	-54	0.260	-144
0.3491	18.00	0.618	127	0.609	129	0.933	38	0.473	128	0.486	-50	0.285	-140
0.3696	17.00	0.601	131	0.592	134	0.915	43	0.522	133	0.539	-46	0.314	-136
0.3927	16.00	0.581	136	0.570	139	0.892	48	0.577	138	0.600	-40	0.345	-130
0.4189	15.00	0.555	142	0.543	146	0.860	55	0.638	145	0.669	-34	0.380	-124
0.4333	14.50	0.539	146	0.526	150	0.840	59	0.670	149	0.707	-30	0.398	-120
0.4488	14.00	0.521	150	0.507	154	0.816	63	0.702	153	0.747	-26	0.416	-115
0.4654	13.50	0.501	154	0.486	159	0.789	68	0.734	158	0.788	-21	0.434	-111
0.4833	13.00	0.477	159	0.461	164	0.756	74	0.764	163	0.831	-16	0.452	-105
0.5027	12.50	0.451	165	0.433	170	0.719	80	0.791	169	0.875	-10	0.468	-99
0.5236	12.00	0.421	171	0.401	177	0.676	87	0.812	176	0.918	-3	0.482	-92
0.5464	11.50	0.387	178	0.365	-174	0.627	95	0.823	-176	0.958	3	0.493	-84
0.5712	11.00	0.349	-173	0.324	-166	0.571	105	0.818	-167	0.992	12	0.499	-75
0.5984	10.50	0.307	-165	0.277	-156	0.508	116	0.786	-157	1.017	22	0.498	-64
0.6283	10.00	0.262	-155	0.225	-144	0.435	128	0.709	-146	1.027	33	0.488	-52
0.6614	9.50	0.214	-145	0.168	-131	0.347	143	0.554	-134	1.017	46	0.467	-37
0.6981	9.00	0.165	-135	0.110	-114	0.241	160	0.244	-114	0.975	61	0.431	-20
0.7392	8.50	0.117	-128	0.069	-87	0.121	-167	0.548	44	0.877	78	0.378	0
0.7854	8.00	0.076	-130	0.058	-121	0.082	-80	1.496	7	0.681	96	0.296	23
0.8378	7.50	0.051	-142	0.073	-175	0.118	-23	0.965	-2	0.389	125	0.187	51
0.8976	7.00	0.037	-143	0.084	-162	0.109	22	0.422	31	0.168	-165	0.064	81
0.9666	6.50	0.024	-111	0.065	-125	0.066	84	0.130	128	0.152	-62	0.048	-32
1.0472	6.00	0.006	124	0.021	-80	0.035	-178	0.144	-96	0.116	34	0.103	17
1.1424	5.50	0.011	167	0.021	-168	0.027	-10	0.077	26	0.062	147	0.066	86
1.2566	5.00	0.005	-29	0.016	-68	0.014	-174	0.098	-143	0.027	17	0.024	21
1.3963	4.50	0.005	-85	0.011	-105	0.005	72	0.050	96	0.005	-101	0.021	132
1.5708	4.00	0.035	-23	0.003	-102	0.018	-91	0.021	43	0.061	12	0.014	137
2.0944	3.00	0.008	-49	0.002	154	0.004	84	0.018	81	0.010	-98	0.002	177

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     9 May, 2017                               *
* Hydrodynamics Analysis of FPU WEST SENO                                     *
* Draft      = 5.8 Meters      Trim Angle = -0.00 Deg.      GMT      = 18.2 Meters *
* Roll Gy. Radius = 12.2 Meters Pitch Gy. Radius = 42.3 Meters Yaw Gy. Radius = 43.5 Meters *
* Heading    = 90.00 Deg.      Forward Speed = 0.00 Knots   Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++
=====

Results are in Body System

Of Point On Body FPUWESTS At X = 75.7 Y = -0.0 Z = 8.7

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2513	25.00	0.000	0	0.958	91	1.000	1	0.368	90	0.000	0	0.000	0
0.3142	20.00	0.000	0	0.931	91	1.001	1	0.581	90	0.000	0	0.000	0
0.3307	19.00	0.001	-23	0.923	91	1.002	1	0.646	90	0.000	0	0.000	0
0.3491	18.00	0.001	-18	0.913	91	1.003	1	0.723	90	0.001	22	0.000	0
0.3696	17.00	0.001	-14	0.900	91	1.005	1	0.815	90	0.001	24	0.000	0
0.3927	16.00	0.001	-12	0.885	91	1.007	1	0.927	89	0.001	27	0.000	0
0.4189	15.00	0.002	-12	0.866	91	1.011	1	1.066	89	0.001	30	0.000	0
0.4333	14.50	0.002	-12	0.855	91	1.014	1	1.148	89	0.001	32	0.000	0
0.4488	14.00	0.002	-12	0.842	91	1.017	1	1.242	89	0.001	33	0.000	0
0.4654	13.50	0.002	-13	0.827	92	1.022	1	1.349	89	0.002	34	0.000	0
0.4833	13.00	0.003	-13	0.811	92	1.028	1	1.473	89	0.002	34	0.000	0
0.5027	12.50	0.003	-14	0.791	92	1.036	0	1.619	89	0.003	32	0.000	0
0.5236	12.00	0.003	-15	0.769	92	1.045	0	1.794	88	0.004	29	0.000	0
0.5464	11.50	0.004	-15	0.743	92	1.058	0	2.003	87	0.005	24	0.001	-35
0.5712	11.00	0.004	-15	0.711	93	1.074	0	2.266	85	0.007	17	0.001	-33
0.5984	10.50	0.005	-15	0.673	93	1.095	-2	2.607	83	0.010	8	0.001	-35
0.6283	10.00	0.007	-16	0.625	93	1.119	-4	3.065	79	0.014	-2	0.002	-40
0.6614	9.50	0.009	-20	0.559	94	1.143	-8	3.701	73	0.018	-14	0.003	-51
0.6981	9.00	0.012	-29	0.466	97	1.154	-14	4.532	61	0.025	-29	0.005	-68
0.7392	8.50	0.016	-45	0.365	110	1.117	-23	5.340	40	0.034	-48	0.008	-94
0.7854	8.00	0.018	-64	0.384	135	0.983	-34	5.432	10	0.044	-74	0.011	-124
0.8378	7.50	0.019	-84	0.490	141	0.757	-45	4.315	-23	0.047	-107	0.012	-152
0.8976	7.00	0.017	-98	0.474	139	0.520	-50	2.503	-39	0.037	-137	0.012	-175
0.9666	6.50	0.013	-118	0.402	145	0.327	-47	1.395	-36	0.029	-162	0.010	169
1.0472	6.00	0.010	-130	0.332	157	0.193	-39	0.787	-26	0.015	-175	0.009	157
1.1424	5.50	0.006	-114	0.265	174	0.108	-20	0.409	-10	0.007	176	0.008	145
1.2566	5.00	0.001	-116	0.206	-160	0.062	6	0.168	-1	0.011	-153	0.006	136
1.3963	4.50	0.005	-24	0.145	-129	0.031	43	0.037	-99	0.003	-114	0.004	115
1.5708	4.00	0.004	3	0.104	-64	0.003	-52	0.029	116	0.003	34	0.001	50
2.0944	3.00	0.002	-60	0.020	139	0.018	-3	0.059	129	0.003	-85	0.002	159

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     9 May, 2017                               *
*                                     Hydrodynamics Analysis of FPU WEST SENO      *
* Draft      = 5.8 Meters      Trim Angle = -0.00 Deg.      GMT      = 18.2 Meters *
* Roll Gy. Radius = 12.2 Meters Pitch Gy. Radius = 42.3 Meters Yaw Gy. Radius = 43.5 Meters *
* Heading    = 135.00 Deg.    Forward Speed = 0.00 Knots    Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++
=====

Results are in Body System

of Point On Body FPUWESTS At X = 75.7 Y = -0.0 Z = 8.7

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2513	25.00	0.672	-108	0.667	71	0.982	-18	0.254	70	0.260	70	0.158	-18
0.3142	20.00	0.642	-118	0.634	60	0.955	-29	0.390	59	0.400	59	0.238	-29
0.3307	19.00	0.632	-122	0.623	57	0.945	-33	0.428	55	0.441	56	0.260	-32
0.3491	18.00	0.620	-125	0.609	53	0.931	-37	0.471	51	0.488	52	0.286	-36
0.3696	17.00	0.605	-130	0.592	48	0.913	-41	0.520	46	0.542	48	0.314	-40
0.3927	16.00	0.586	-135	0.570	43	0.889	-47	0.575	41	0.605	42	0.346	-46
0.4189	15.00	0.561	-141	0.542	37	0.856	-53	0.635	34	0.677	35	0.381	-52
0.4333	14.50	0.547	-145	0.526	33	0.836	-57	0.666	30	0.717	31	0.399	-56
0.4488	14.00	0.530	-149	0.507	29	0.812	-61	0.698	26	0.760	27	0.417	-60
0.4654	13.50	0.510	-153	0.485	24	0.784	-66	0.729	21	0.805	22	0.436	-64
0.4833	13.00	0.487	-159	0.461	19	0.751	-71	0.759	15	0.853	17	0.454	-70
0.5027	12.50	0.461	-164	0.433	13	0.714	-76	0.785	9	0.901	10	0.471	-75
0.5236	12.00	0.430	-171	0.401	6	0.671	-82	0.805	2	0.950	3	0.486	-82
0.5464	11.50	0.393	-178	0.364	0	0.622	-89	0.814	-5	0.995	-4	0.497	-89
0.5712	11.00	0.351	172	0.323	-9	0.567	-96	0.805	-14	1.034	-13	0.504	-97
0.5984	10.50	0.304	163	0.276	-19	0.504	-104	0.769	-25	1.063	-24	0.504	-106
0.6283	10.00	0.252	152	0.224	-31	0.431	-113	0.685	-38	1.075	-36	0.496	-116
0.6614	9.50	0.197	139	0.167	-44	0.346	-123	0.518	-54	1.066	-50	0.475	-127
0.6981	9.00	0.140	122	0.110	-58	0.249	-131	0.178	-73	1.026	-67	0.440	-141
0.7392	8.50	0.081	96	0.072	-70	0.159	-128	0.669	65	0.931	-88	0.385	-157
0.7854	8.00	0.030	27	0.067	-153	0.144	-112	1.617	-21	0.731	-114	0.306	-177
0.8378	7.50	0.043	-79	0.085	107	0.157	-117	1.053	-87	0.420	-141	0.197	158
0.8976	7.00	0.056	-118	0.093	57	0.138	-137	0.461	-123	0.173	-137	0.068	128
0.9666	6.50	0.054	-136	0.071	13	0.080	-155	0.105	-119	0.178	-118	0.047	-83
1.0472	6.00	0.039	-144	0.022	-39	0.041	-158	0.157	-55	0.129	-131	0.105	-127
1.1424	5.50	0.026	-145	0.023	99	0.029	-133	0.142	-89	0.057	-156	0.072	176
1.2566	5.00	0.017	-135	0.020	25	0.011	-155	0.067	-51	0.035	-112	0.013	-86
1.3963	4.50	0.001	-81	0.010	116	0.005	-124	0.057	-89	0.003	-59	0.027	171
1.5708	4.00	0.041	73	0.003	164	0.018	10	0.028	-57	0.060	108	0.013	-155
2.0944	3.00	0.016	52	0.004	-68	0.007	-172	0.033	-151	0.019	10	0.010	-98


```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                               *
*                                     9 May, 2017                             *
* Hydrodynamics Analysis of FPU WEST SENO                                     *
* Draft      = 5.8 Meters      Trim Angle = -0.00 Deg.      GMT      = 18.2 Meters *
* Roll Gy. Radius = 12.2 Meters Pitch Gy. Radius = 42.3 Meters Yaw Gy. Radius = 43.5 Meters *
* Heading    = 180.00 Deg.    Forward Speed = 0.00 Knots    Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++
=====

Results are in Body System

Of Point On Body FPUWESTS At X = 75.7 Y = -0.0 Z = 8.7

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2513	25.00	0.933	-116	0.007	153	0.963	-27	0.001	-77	0.363	62	0.002	55
0.3142	20.00	0.871	-131	0.006	138	0.910	-43	0.001	-79	0.551	46	0.004	43
0.3307	19.00	0.849	-135	0.006	134	0.889	-47	0.002	-81	0.604	42	0.004	38
0.3491	18.00	0.822	-141	0.006	129	0.862	-53	0.002	-85	0.663	36	0.004	32
0.3696	17.00	0.788	-147	0.005	124	0.826	-60	0.003	-91	0.729	29	0.005	26
0.3927	16.00	0.745	-154	0.005	118	0.778	-67	0.003	-99	0.802	22	0.005	17
0.4189	15.00	0.690	-163	0.004	111	0.714	-77	0.005	-109	0.880	12	0.006	7
0.4333	14.50	0.657	-169	0.004	108	0.674	-82	0.005	-115	0.920	6	0.006	1
0.4488	14.00	0.619	-175	0.004	105	0.628	-87	0.006	-123	0.959	0	0.006	-5
0.4654	13.50	0.575	-178	0.004	103	0.575	-93	0.007	-131	0.995	-6	0.006	-12
0.4833	13.00	0.524	-170	0.003	101	0.516	-99	0.008	-141	1.026	-14	0.006	-20
0.5027	12.50	0.466	-162	0.003	100	0.450	-106	0.009	-152	1.048	-22	0.006	-29
0.5236	12.00	0.400	-153	0.003	100	0.378	-112	0.010	-164	1.055	-32	0.006	-38
0.5464	11.50	0.326	-142	0.003	101	0.302	-116	0.011	-179	1.040	-44	0.006	-48
0.5712	11.00	0.244	-131	0.002	103	0.229	-117	0.011	-163	0.993	-56	0.005	-57
0.5984	10.50	0.159	-119	0.002	107	0.172	-110	0.011	-143	0.906	-70	0.004	-65
0.6283	10.00	0.077	-110	0.003	109	0.154	-93	0.009	-118	0.775	-84	0.003	-69
0.6614	9.50	0.017	-161	0.003	106	0.181	-84	0.004	-69	0.604	-97	0.003	-67
0.6981	9.00	0.054	-134	0.004	96	0.219	-91	0.010	-88	0.424	-104	0.003	-53
0.7392	8.50	0.081	-146	0.005	74	0.229	-108	0.043	-154	0.323	-95	0.004	-47
0.7854	8.00	0.076	-162	0.005	2	0.190	-128	0.079	88	0.372	-92	0.006	-69
0.8378	7.50	0.053	-159	0.001	-18	0.127	-139	0.023	19	0.387	-114	0.006	-112
0.8976	7.00	0.052	-139	0.001	25	0.102	-139	0.013	25	0.261	-139	0.003	-158
0.9666	6.50	0.063	-139	0.001	5	0.075	-149	0.006	-5	0.169	-140	0.001	-130
1.0472	6.00	0.056	-149	0.001	-39	0.049	-162	0.005	-36	0.123	-141	0.002	-139
1.1424	5.50	0.048	-154	0.000	0	0.039	-155	0.005	14	0.073	-162	0.001	135
1.2566	5.00	0.038	-162	0.000	0	0.028	-167	0.002	96	0.043	-167	0.001	179
1.3963	4.50	0.026	-158	0.001	-104	0.012	-174	0.001	31	0.014	-161	0.001	-177
1.5708	4.00	0.010	-178	0.000	0	0.007	-102	0.006	23	0.022	103	0.002	106
2.0944	3.00	0.015	-127	0.001	129	0.005	19	0.015	46	0.013	-153	0.004	94

**VALIDASI
DISPLACEMENT**

No	Condition			Displacement Moses	Displacement Data	Correction	% Correction
	draft	trim	roll				
	(m)	(Deg)	(Deg)	(M-Tons)	(M-Tons)	(M-Tons)	%
1	5,50	0	0	30531,53	30546	14,47	0,0474
2	5,52	0	0	30650,49	30665	14,51	0,0473
3	5,54	0	0	30769,37	30784	14,63	0,0475
4	5,56	0	0	30888,45	30904	15,55	0,0503
5	5,58	0	0	31007,38	31023	15,62	0,0503
6	5,60	0	0	31126,32	31142	15,68	0,0504
7	5,62	0	0	31245,20	31261	15,80	0,0505
8	5,64	0	0	31364,12	31380	15,88	0,0506
9	5,66	0	0	31483,08	31499	15,92	0,0505
10	5,68	0	0	31601,90	31618	16,10	0,0509
11	5,70	0	0	31721,00	31737	16,00	0,0504
12	5,72	0	0	31839,95	31856	16,05	0,0504
13	5,74	0	0	31958,90	31975	16,10	0,0504
14	5,76	0	0	32077,78	32094	16,22	0,0505
15	5,78	0	0	32196,84	32213	16,16	0,0502
16	5,80	0	0	32315,62	32333	17,38	0,0538
17	5,82	0	0	32434,55	32452	17,45	0,0538
18	5,84	0	0	32553,50	32571	17,50	0,0537
19	5,86	0	0	32672,48	32690	17,52	0,0536
20	5,88	0	0	32791,49	32809	17,51	0,0534
21	5,90	0	0	32910,31	32928	17,69	0,0537
22	5,92	0	0	33029,34	33047	17,66	0,0534
23	5,94	0	0	33148,18	33166	17,82	0,0537
24	5,96	0	0	33267,17	33285	17,83	0,0536
25	5,98	0	0	33385,99	33404	18,01	0,0539
26	6,00	0	0	33505,02	33523	17,98	0,0536
27	6,02	0	0	33624,07	33642	17,93	0,0533
28	6,04	0	0	33742,99	33762	19,01	0,0563
29	6,06	0	0	33861,88	33881	19,12	0,0564
30	6,08	0	0	33980,73	34000	19,27	0,0567
31	6,10	0	0	34099,74	34119	19,26	0,0564
32	6,12	0	0	34218,60	34238	19,40	0,0567
33	6,14	0	0	34337,54	34357	19,46	0,0566
34	6,16	0	0	34456,53	34476	19,47	0,0565
35	6,18	0	0	34575,57	34595	19,43	0,0562
36	6,20	0	0	34694,41	34714	19,59	0,0564
37	6,22	0	0	34813,37	34833	19,63	0,0564
38	6,24	0	0	34932,23	34952	19,77	0,0566

VALIDASI TANK CAPACITY

COMPARTMENT FP

VWC9

No	Full %	Ullage m	Sounding m	Weight Moses	Volume Moses	Weight Data	Volume Data	%Check Weight	%Check Volume
1	0,00	9,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
2	0,97	8,77	0,50	13,58	13,58	13,58	13,58	0,00	0,00
3	3,90	8,27	1,00	54,73	54,73	54,73	54,73	0,00	0,00
4	8,81	7,77	1,50	123,64	123,64	123,64	123,64	0,00	0,00
5	14,90	7,27	2,00	209,02	209,02	209,02	209,02	0,00	0,00
6	21,01	6,77	2,50	294,76	294,76	294,76	294,76	0,00	0,00
7	27,13	6,27	3,00	380,50	380,51	380,50	380,51	0,00	0,00
8	33,24	5,77	3,50	466,25	466,25	466,25	466,25	0,00	0,00
9	39,35	5,27	4,00	552,00	552,00	552,00	552,00	0,00	0,00
10	45,47	4,77	4,50	637,74	637,74	637,74	637,74	0,00	0,00
11	51,58	4,27	5,00	723,49	723,49	723,49	723,49	0,00	0,00
12	57,69	3,77	5,50	809,23	809,23	809,23	809,23	0,00	0,00
13	63,80	3,27	6,00	894,98	894,98	894,98	894,98	0,00	0,00
14	69,74	2,77	6,50	978,29	978,29	978,29	978,29	0,00	0,00
15	75,44	2,27	7,00	1058,23	1058,23	1058,23	1058,23	0,00	0,00
16	81,14	1,77	7,50	1138,16	1138,16	1138,16	1138,16	0,00	0,00
17	86,84	1,27	8,00	1218,10	1218,10	1218,10	1218,10	0,00	0,00
18	92,54	0,77	8,50	1298,04	1298,04	1298,04	1298,04	0,00	0,00
19	98,24	0,27	9,00	1377,97	1377,97	1377,97	1377,97	0,00	0,00
20	100,00	-0,23	9,27	1402,70	1402,70	1402,70	1402,70	0,00	0,00

COMPARTMENT 1
VWC8

No	Full %	Ullage m	Sounding m	Weight Moses	Volume Moses	Weight Data	Volume Data	%Check Weight	%Check Volume
1	0,00	10,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
2	3,72	9,80	0,50	73,95	73,95	73,95	73,95	0,00	0,00
3	8,24	9,30	1,00	163,91	163,91	163,91	163,91	0,00	0,00
4	13,21	8,80	1,50	262,78	262,78	262,78	262,78	0,00	0,00
5	18,18	8,30	2,00	361,68	361,68	361,68	361,68	0,00	0,00
6	23,15	7,80	2,50	460,57	460,57	460,57	460,57	0,00	0,00
7	28,13	7,30	3,00	559,47	559,47	559,47	559,47	0,00	0,00
8	33,10	6,80	3,50	658,36	658,36	658,36	658,36	0,00	0,00
9	38,07	6,30	4,00	757,26	757,26	757,26	757,26	0,00	0,00
10	43,04	5,80	4,50	856,15	856,15	856,15	856,15	0,00	0,00
11	48,01	5,30	5,00	955,05	955,05	955,05	955,05	0,00	0,00
12	52,98	4,80	5,50	1053,94	1053,94	1053,94	1053,94	0,00	0,00
13	57,96	4,30	6,00	1152,84	1152,84	1152,84	1152,84	0,00	0,00
14	62,93	3,80	6,50	1251,73	1251,73	1251,73	1251,73	0,00	0,00
15	67,90	3,30	7,00	1350,63	1350,63	1350,63	1350,63	0,00	0,00
16	72,87	2,80	7,50	1449,52	1449,52	1449,52	1449,52	0,00	0,00
17	77,84	2,30	8,00	1548,42	1548,42	1548,42	1548,42	0,00	0,00
18	82,81	1,80	8,50	1647,31	1647,31	1647,31	1647,31	0,00	0,00
19	87,78	1,30	9,00	1746,21	1746,21	1746,21	1746,21	0,00	0,00
20	92,76	0,80	9,50	1845,10	1845,10	1845,10	1845,10	0,00	0,00
21	97,73	0,30	10,00	1944,00	1944,00	1944,00	1944,00	0,00	0,00
22	100,00	-0,20	10,30	1989,19	1989,19	1989,19	1989,19	0,00	0,00

**VALIDASI WATER PLAN
AREA**

No	Condition			WPA Moses	WPA Data	Correction	%Correction
	draft	trim	roll				
	(m)	(Deg)	(Deg)	M²	M²	M²	%
1	5,50	0	0	5803,40	5808,8	5,40	0,0930
2	5,52	0	0	5803,40	5808,8	5,40	0,0930
3	5,54	0	0	5803,40	5808,8	5,40	0,0930
4	5,56	0	0	5803,40	5808,8	5,40	0,0930
5	5,58	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
6	5,60	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
7	5,62	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
8	5,64	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
9	5,66	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
10	5,68	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
11	5,70	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
12	5,72	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
13	5,74	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
14	5,76	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
15	5,78	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
16	5,80	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
17	5,82	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
18	5,84	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
19	5,86	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
20	5,88	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
21	5,90	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
22	5,92	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
23	5,94	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
24	5,96	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
25	5,98	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
26	6,00	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
27	6,02	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
28	6,04	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
29	6,06	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
30	6,08	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
31	6,10	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
32	6,12	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
33	6,14	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
34	6,16	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
35	6,18	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
36	6,20	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947
37	6,22	0	0	5803,40	5808,9	5,50	0,0947

VALIDASI KMT

No	Condition			KMT Moses	KMT Data	Correction	%Correctio n
	draft	trim	roll				
	(m)	(Deg)	(Deg)	M	M	M	%
1	5,50	0	0	26,39	26,443	0,05	0,2004
2	5,52	0	0	26,31	26,36	0,05	0,1897
3	5,54	0	0	26,23	26,278	0,05	0,1827
4	5,56	0	0	26,15	26,197	0,05	0,1794
5	5,58	0	0	26,07	26,117	0,05	0,1800
6	5,60	0	0	25,99	26,037	0,05	0,1805
7	5,62	0	0	25,92	25,959	0,04	0,1502
8	5,64	0	0	25,84	25,883	0,04	0,1661
9	5,66	0	0	25,76	25,808	0,05	0,1860
10	5,68	0	0	25,69	25,733	0,04	0,1671
11	5,70	0	0	25,61	25,659	0,05	0,1910
12	5,72	0	0	25,54	25,586	0,05	0,1798
13	5,74	0	0	25,47	25,513	0,04	0,1685
14	5,76	0	0	25,39	25,44	0,05	0,1965
15	5,78	0	0	25,32	25,369	0,05	0,1931
16	5,80	0	0	25,25	25,297	0,05	0,1858
17	5,82	0	0	25,18	25,226	0,05	0,1824
18	5,84	0	0	25,11	25,156	0,05	0,1829
19	5,86	0	0	25,04	25,086	0,05	0,1834
20	5,88	0	0	24,97	25,017	0,05	0,1879
21	5,90	0	0	24,90	24,948	0,05	0,1924
22	5,92	0	0	24,83	24,88	0,05	0,2010
23	5,94	0	0	24,76	24,812	0,05	0,2096
24	5,96	0	0	24,69	24,745	0,05	0,2223
25	5,98	0	0	24,63	24,678	0,05	0,1945
26	6,00	0	0	24,56	24,612	0,05	0,2113
27	6,02	0	0	24,50	24,546	0,05	0,1874
28	6,04	0	0	24,43	24,48	0,05	0,2042
29	6,06	0	0	24,37	24,415	0,04	0,1843
30	6,08	0	0	24,30	24,351	0,05	0,2094
31	6,10	0	0	24,24	24,287	0,05	0,1935
32	6,12	0	0	24,18	24,223	0,04	0,1775
33	6,14	0	0	24,11	24,16	0,05	0,2070
34	6,16	0	0	24,05	24,097	0,05	0,1950
35	6,18	0	0	23,99	24,035	0,05	0,1872
36	6,20	0	0	23,93	23,973	0,04	0,1794
37	6,22	0	0	23,87	23,912	0,04	0,1756
38	6,24	0	0	23,81	23,851	0,04	0,1719

VALIDASI KML

No	Condition			KML Moses	KML Data	Correction	%Correction
	draft	trim	roll				
	(m)	(Deg)	(Deg)	M	M	M	%
1	5,50	0	0	379,85	380,1	0,25	0,0658
2	5,52	0	0	378,40	378,64	0,24	0,0634
3	5,54	0	0	376,96	377,2	0,24	0,0636
4	5,56	0	0	375,52	375,77	0,25	0,0665
5	5,58	0	0	374,10	374,35	0,25	0,0668
6	5,60	0	0	372,70	372,94	0,24	0,0644
7	5,62	0	0	371,30	371,54	0,24	0,0646
8	5,64	0	0	369,91	370,15	0,24	0,0648
9	5,66	0	0	368,54	368,78	0,24	0,0651
10	5,68	0	0	367,17	367,41	0,24	0,0653
11	5,70	0	0	365,82	366,05	0,23	0,0628
12	5,72	0	0	364,47	364,71	0,24	0,0658
13	5,74	0	0	363,14	363,37	0,23	0,0633
14	5,76	0	0	361,81	362,05	0,24	0,0663
15	5,78	0	0	360,49	360,73	0,24	0,0665
16	5,80	0	0	359,19	359,42	0,23	0,0640
17	5,82	0	0	357,89	358,13	0,24	0,0670
18	5,84	0	0	356,61	356,84	0,23	0,0645
19	5,86	0	0	355,33	355,56	0,23	0,0647
20	5,88	0	0	354,06	354,29	0,23	0,0649
21	5,90	0	0	352,81	353,03	0,22	0,0623
22	5,92	0	0	351,56	351,78	0,22	0,0625
23	5,94	0	0	350,32	350,54	0,22	0,0628
24	5,96	0	0	349,08	349,31	0,23	0,0658
25	5,98	0	0	347,86	348,08	0,22	0,0632
26	6,00	0	0	346,65	346,87	0,22	0,0634
27	6,02	0	0	345,44	345,66	0,22	0,0636
28	6,04	0	0	344,25	344,47	0,22	0,0639
29	6,06	0	0	343,06	343,28	0,22	0,0641
30	6,08	0	0	341,88	342,09	0,21	0,0614
31	6,10	0	0	340,71	340,92	0,21	0,0616
32	6,12	0	0	339,55	339,76	0,21	0,0618
33	6,14	0	0	338,39	338,6	0,21	0,0620
34	6,16	0	0	337,24	337,45	0,21	0,0622
35	6,18	0	0	336,10	336,31	0,21	0,0624
36	6,20	0	0	334,97	335,18	0,21	0,0627
37	6,22	0	0	333,85	334,05	0,20	0,0599
38	6,24	0	0	332,74	332,93	0,19	0,0571

VALIDASI LCF

No	Condition			LCF Moses	LCF Data	Correction	%Correction
	draft	trim	roll				
	(m)	(Deg)	(Deg)	M	M	M	%
1	5,50	0	0	76,20	76,199	0,001	-0,0328
2	5,52	0	0	76,20	76,199	0,001	-0,0328
3	5,54	0	0	76,20	76,199	0,001	-0,0328
4	5,56	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
5	5,58	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
6	5,60	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
7	5,62	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
8	5,64	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
9	5,66	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
10	5,68	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
11	5,70	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
12	5,72	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
13	5,74	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
14	5,76	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
15	5,78	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
16	5,80	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
17	5,82	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
18	5,84	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
19	5,86	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
20	5,88	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
21	5,90	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
22	5,92	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
23	5,94	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
24	5,96	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
25	5,98	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
26	6,00	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
27	6,02	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
28	6,04	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
29	6,06	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
30	6,08	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
31	6,10	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
32	6,12	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
33	6,14	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
34	6,16	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
35	6,18	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
36	6,20	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
37	6,22	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000
38	6,24	0	0	76,20	76,20	0,00	0,0000

VALIDASI LCB

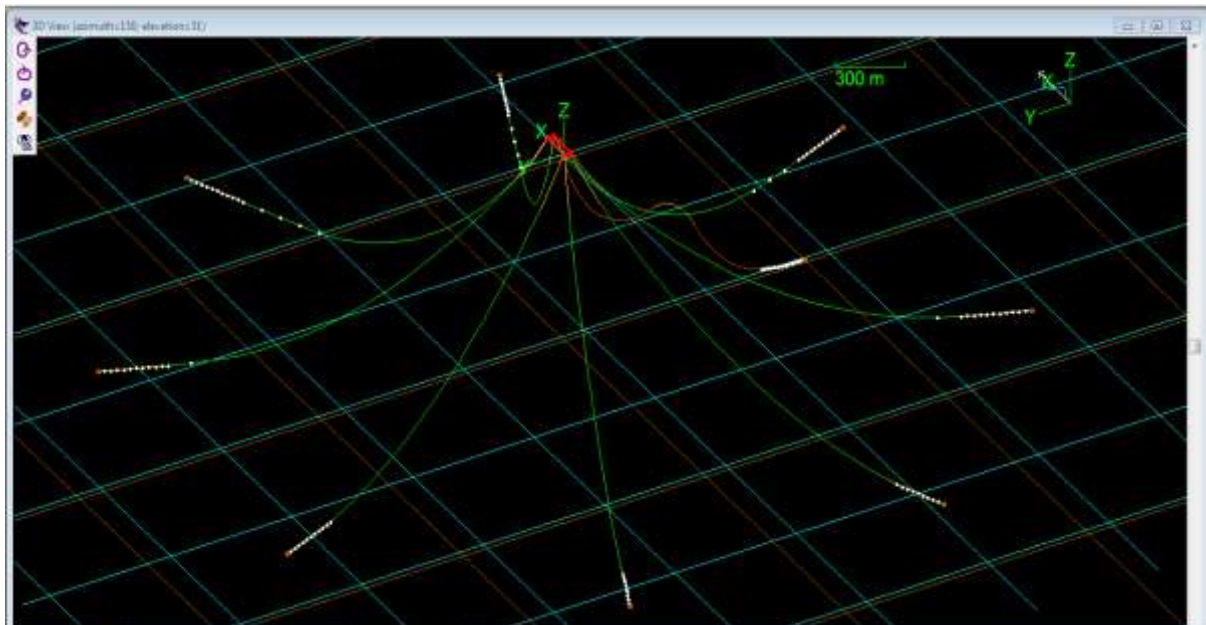
No	Condition			LCB Moses	LCB Data	Correction	%Correction
	draft	trim	roll				
	(m)	(Deg)	(Deg)	M	M	M	%
1	5,50	0	0	74,82	74,822	-0,002	0,1198
2	5,52	0	0	74,82	74,827	-0,007	0,4179
3	5,54	0	0	74,83	74,833	-0,003	0,1785
4	5,56	0	0	74,83	74,838	-0,008	0,4745
5	5,58	0	0	74,84	74,843	-0,003	0,1774
6	5,60	0	0	74,84	74,848	-0,008	0,4717
7	5,62	0	0	74,85	74,854	-0,004	0,2350
8	5,64	0	0	74,85	74,859	-0,009	0,5272
9	5,66	0	0	74,86	74,864	-0,004	0,2336
10	5,68	0	0	74,87	74,869	0,001	-0,0582
11	5,70	0	0	74,87	74,874	-0,004	0,2323
12	5,72	0	0	74,87	74,879	-0,009	0,5211
13	5,74	0	0	74,88	74,884	-0,004	0,2309
14	5,76	0	0	74,88	74,889	-0,009	0,5181
15	5,78	0	0	74,89	74,893	-0,003	0,1723
16	5,80	0	0	74,89	74,898	-0,008	0,4582
17	5,82	0	0	74,90	74,903	-0,003	0,1713
18	5,84	0	0	74,90	74,908	-0,008	0,4556
19	5,86	0	0	74,91	74,912	-0,002	0,1136
20	5,88	0	0	74,91	74,917	-0,007	0,3966
21	5,90	0	0	74,92	74,922	-0,002	0,1130
22	5,92	0	0	74,92	74,926	-0,006	0,3382
23	5,94	0	0	74,93	74,931	-0,001	0,0562
24	5,96	0	0	74,93	74,935	-0,005	0,2804
25	5,98	0	0	74,94	74,940	0,000	0,0000
26	6,00	0	0	74,94	74,944	-0,004	0,2232
27	6,02	0	0	74,94	74,949	-0,009	0,5008
28	6,04	0	0	74,95	74,953	-0,003	0,1666
29	6,06	0	0	74,95	74,958	-0,008	0,4430
30	6,08	0	0	74,96	74,962	-0,002	0,1105
31	6,10	0	0	74,96	74,966	-0,006	0,3308
32	6,12	0	0	74,97	74,971	-0,001	0,0550
33	6,14	0	0	74,97	74,975	-0,005	0,2743
34	6,16	0	0	74,98	74,979	0,001	-0,0547
35	6,18	0	0	74,98	74,983	-0,003	0,1638
36	6,20	0	0	74,98	74,987	-0,007	0,3815
37	6,22	0	0	74,99	74,992	-0,002	0,1087
38	6,24	0	0	74,99	74,996	-0,006	0,3254

VALIDASI KB

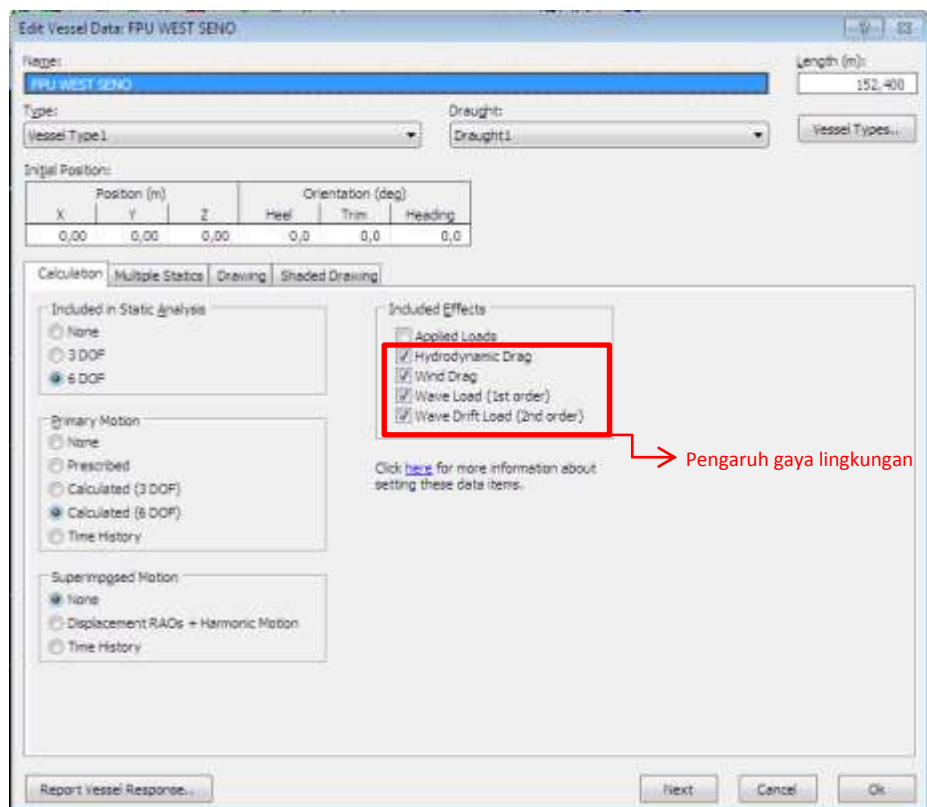
No	Condition			KB Moses	KB Data	Correction	%Correction
	draft	trim	roll				
	(m)	(Deg)	(Deg)	M	M	M	%
1	5,50	0	0	2,86	2,844	0,016	0,5626
2	5,52	0	0	2,87	2,854	0,016	0,5606
3	5,54	0	0	2,88	2,863	0,017	0,5938
4	5,56	0	0	2,89	2,871	0,019	0,6618
5	5,58	0	0	2,90	2,880	0,020	0,6944
6	5,60	0	0	2,91	2,889	0,021	0,7269
7	5,62	0	0	2,92	2,899	0,021	0,7244
8	5,64	0	0	2,93	2,911	0,019	0,6527
9	5,66	0	0	2,94	2,923	0,017	0,5816
10	5,68	0	0	2,95	2,934	0,016	0,5453
11	5,70	0	0	2,96	2,946	0,014	0,4752
12	5,72	0	0	2,97	2,957	0,013	0,4396
13	5,74	0	0	2,98	2,969	0,011	0,3705
14	5,76	0	0	2,99	2,980	0,010	0,3356
15	5,78	0	0	3,00	2,991	0,009	0,3009
16	5,80	0	0	3,01	3,002	0,008	0,2665
17	5,82	0	0	3,02	3,013	0,007	0,2323
18	5,84	0	0	3,03	3,024	0,006	0,1984
19	5,86	0	0	3,04	3,035	0,005	0,1647
20	5,88	0	0	3,05	3,046	0,004	0,1313
21	5,90	0	0	3,06	3,056	0,004	0,1309
22	5,92	0	0	3,07	3,067	0,003	0,0978
23	5,94	0	0	3,08	3,077	0,003	0,0975
24	5,96	0	0	3,09	3,088	0,002	0,0648
25	5,98	0	0	3,10	3,098	0,002	0,0646
26	6,00	0	0	3,11	3,109	0,001	0,0322
27	6,02	0	0	3,12	3,119	0,001	0,0321
28	6,04	0	0	3,13	3,129	0,001	0,0320
29	6,06	0	0	3,14	3,139	0,001	0,0319
30	6,08	0	0	3,15	3,149	0,001	0,0318
31	6,10	0	0	3,16	3,159	0,001	0,0317
32	6,12	0	0	3,17	3,169	0,001	0,0316
33	6,14	0	0	3,18	3,179	0,001	0,0315
34	6,16	0	0	3,19	3,188	0,002	0,0627
35	6,18	0	0	3,21	3,198	0,012	0,3752
36	6,20	0	0	3,22	3,208	0,012	0,3741
37	6,22	0	0	3,23	3,217	0,013	0,4041
38	6,24	0	0	3,24	3,227	0,013	0,4029

VALIDASI TPC

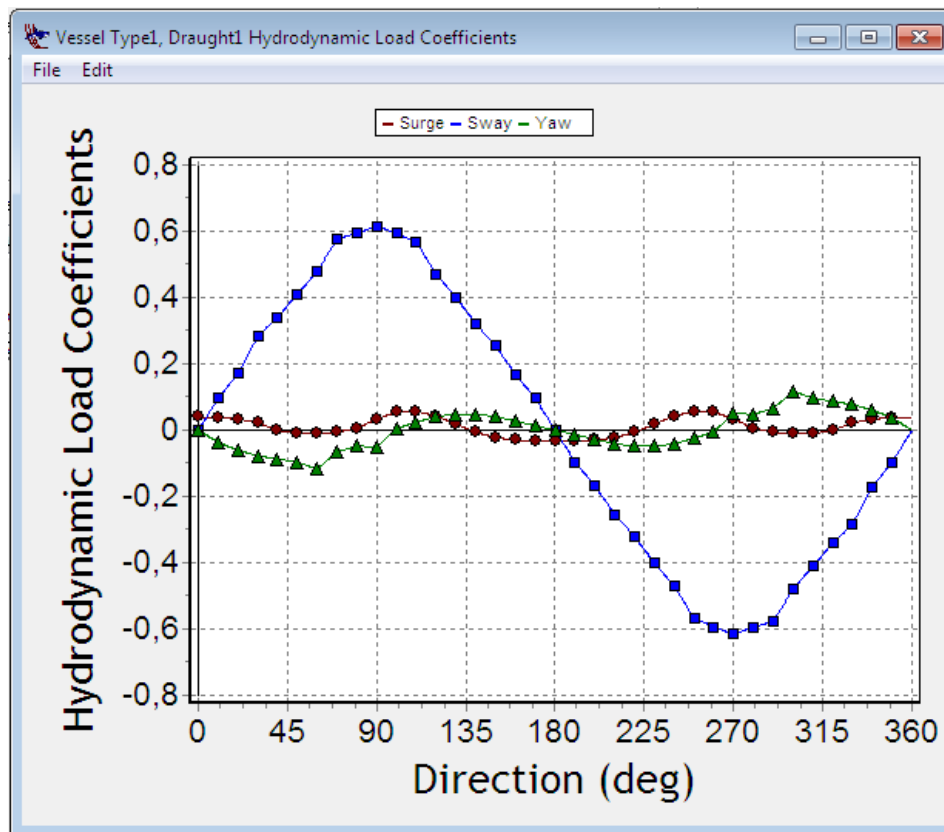
No	Condition			TPC Moses	TPC Data	Correction	%Correction
	draft	trim	roll				
	(m)	(Deg)	(Deg)	T/CM	T/CM	T/CM	%
1	5,50	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
2	5,52	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
3	5,54	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
4	5,56	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
5	5,58	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
6	5,60	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
7	5,62	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
8	5,64	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
9	5,66	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
10	5,68	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
11	5,70	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
12	5,72	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
13	5,74	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
14	5,76	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
15	5,78	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
16	5,80	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
17	5,82	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
18	5,84	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
19	5,86	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
20	5,88	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
21	5,90	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
22	5,92	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
23	5,94	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
24	5,96	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
25	5,98	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
26	6,00	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
27	6,02	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
28	6,04	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
29	6,06	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
30	6,08	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
31	6,10	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
32	6,12	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
33	6,14	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
34	6,16	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
35	6,18	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
36	6,20	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
37	6,22	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672
38	6,24	0	0	59,50	59,540	-0,040	-0,0672



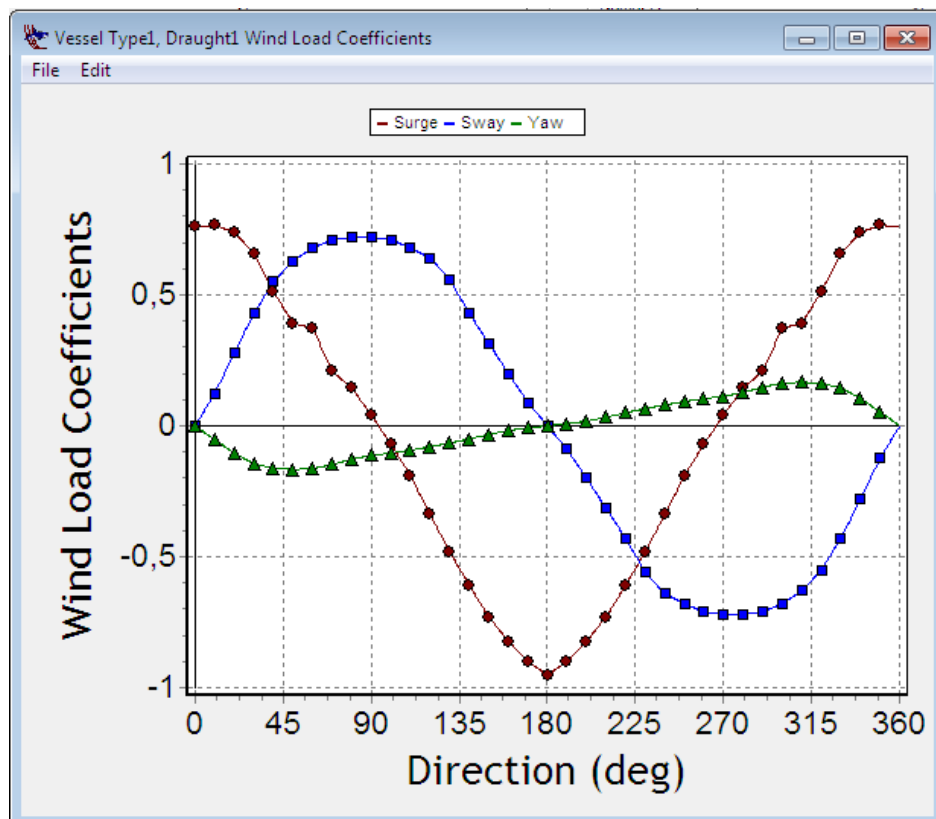
Gambar 1. Konfigurasi Sistem Tambat Skenario I (8-lines)



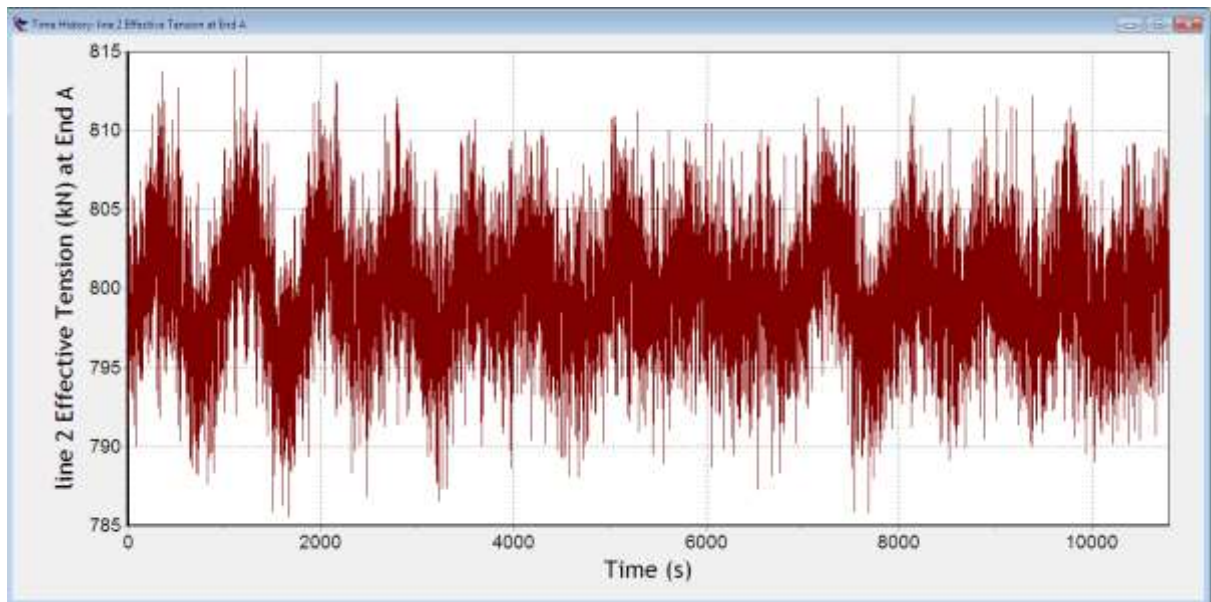
Gambar 2. Skenario simulasi domain waktu secara simultan dengan memperhatikan gaya arus, angin, gaya gelombang orde-1 dan gaya gelombang orde-2



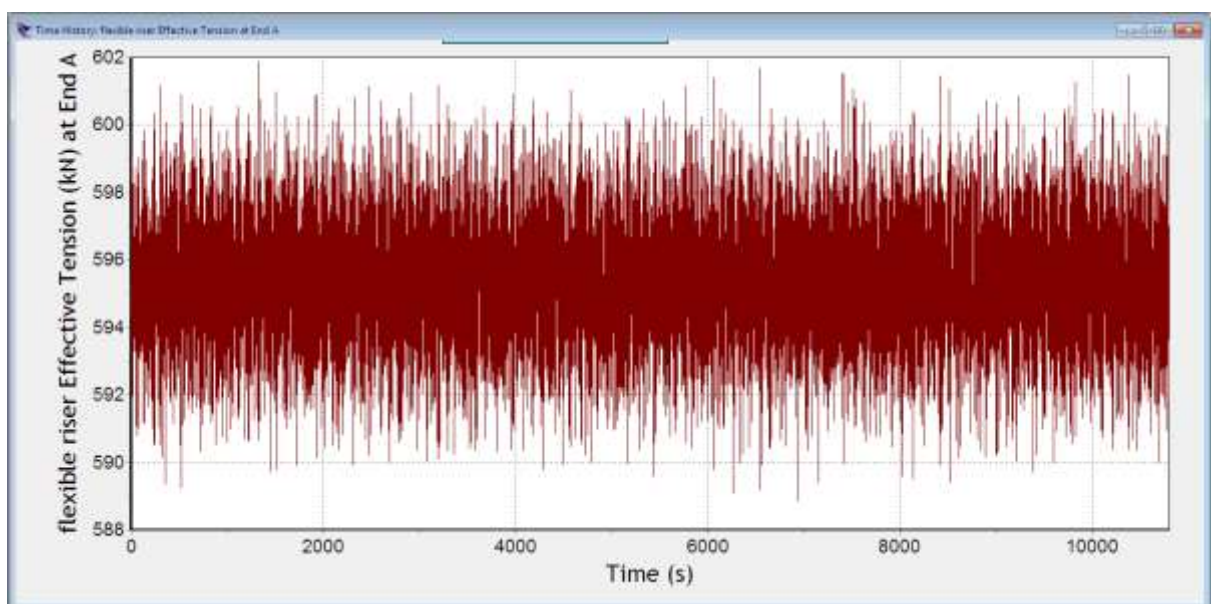
Gambar 3. Koefisien drag gaya arus pada vessel (OCIMF, 1994)



Gambar 4. Koefisien drag gaya angin pada vessel (OCIMF, 1994)



Gambar 5. Tension Line 2 pada Skenario I (*8-lines*) Arah Pembebanan 0° ULS Kondisi Maksimum Draft



Gambar 6. Tension Flexible Riser pada Skenario I (*8-lines*) Arah Pembebanan 0° ULS Kondisi Maksimum Draft

BIODATA PENULIS



Dian Fiddini Mahanani, dilahirkan di Madiun pada tanggal 11 Maret 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 1 Pulerejo Madiun, SMPN 1 Mejayan Madiun dan SMAN 1 Mejayan Madiun. Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 4313100055. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis sempat aktif menjadi Wakil Ketua Divisi Humas UKM Maritime Challenge 13/14, Staff Kementerian Energi dan Maritim BEM ITS 14/15, Bendahara Umum HIMATEKLA FTK ITS 15/16, dan Pengurus Lab. Hidrodinamika FTK ITS. Penulis juga aktif menjadi panitia kegiatan kampus, salah satunya menjadi Ketua Panitia Kunjungan Kemaritiman BEM ITS ke Pelindo III. Pada tahun 2016, penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di PT. ZEE Indonesia Divisi *Marine* selama dua bulan. Selama masa studi strata I yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrodinamika lepas pantai sehingga dalam Tugas Akhir ini mengambil topik yang berhubungan dengan mata kuliah Olah Gerak Bangunan Apung, yaitu analisis sistem *mooring*.

Kontak Penulis :

Email : **dianfiddini@gmail.com**

Telepon : 083845884078

Line ID : dian_fiddini